



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

Е.Ю. Мысливчик

ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
для студентов специальности 1-56 02 01 «Геодезия»**



Минск
БНТУ
2020

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время под изысканиями понимают комплексное изучение природных условий предполагаемого участка строительства для получения необходимых исходных данных, обеспечивающих при проектировании и строительстве принятие технически правильных и экономически целесообразных решений. Комплексное изучение возможных мест будущего строительства требует если не одновременного, то параллельного проведения нескольких видов изысканий.

Курс «Основы инженерных изысканий» освещает общие, экономические и технические вопросы, которые решаются на различных этапах создания инженерного сооружения, и определяет место и роль топографо-геодезических работ в общем комплексе различных видов изысканий. Основы инженерных изысканий являются базой для изучения многих дисциплин специализации, таких как инженерная геодезия, гравиметрия и других, что свидетельствует о междисциплинарном подходе и связи с другими дисциплинами.

Целью изучения учебной дисциплины является формирование у будущих специалистов широкого кругозора в области инженерных изысканий для наиболее полного учета условий, предопределяющих рациональность создания сооружений, их возведение и работу с учетом органичного сочетания различных видов изысканий и поиском общих закономерностей влияния природных и экономических условий на проектирование, строительство и эксплуатацию сооружений.

В структуру УМК входят: [учебная программа](#), [конспект лекций](#), [методические указания к выполнению лабораторной работы](#), [перечень контрольных вопросов для самостоятельной работы студентов](#).

РАЗДЕЛ I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ.
КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

**ЛЕКЦИЯ № 1. ИНЖЕНЕРНО-
ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ**

Дисциплина «Основы инженерных изысканий» освещает общие, экономические и технические вопросы, которые решаются на различных этапах создания инженерного сооружения; дает понятие о задачах, решаемых специалистами смежных с геодезией дисциплин, таких, как инженерная геология, гидрогеология, геофизика, гидрология; определяет место и роль топографо-геодезических работ в общем комплексе изысканий.

Задачами изучаемого курса являются освоение методов построения инженерно-геодезических сетей; рассмотрение изысканий по видам изучаемых условий с последующим их учетом при проектировании и строительстве тех или иных сооружений.

Инженерные изыскания в настоящее время стали важнейшим этапом строительного инвестиционного цикла, в значительной мере определяющим эффективность и качество всех последующих этапов (проектирования и строительно-монтажных работ). Инженерные изыскания должны выполняться специалистами, имеющими соответствующую квалификацию и необходимый или достаточный опыт работ.

Инженерные изыскания выполняются в порядке, установленном законодательством Республики Беларусь, и в соответствии с требованиями нормативных документов Государственной системы технического нормирования и стандартизации в области строительства Республики Беларусь, а также строительных норм, стандартов и иных документов (ведомственных, межгосударственных, других государств), если они утверждены или их применение согласовано в установленном порядке. Допускается использование законченных научных и

научно-технических разработок (с обоснованием в программе и/или отчете об изысканиях), за результаты применения которых организация (предприниматель) несет ответственность.

На территории Республики Беларусь основными нормативными документами являются: [СНБ 1.02.01-96 «Инженерные изыскания для строительства»](#); СТБ 21303- 99 «Система проектной документации для строительства». В настоящее время разрабатывается ТКП «Инженерные изыскания для строительства. Основные требования».

Инженерные изыскания - это неотъемлемая часть всех видов строительства - промышленного, гражданского, гидротехнического, транспортного, энергетического и др.

Инженерные изыскания должны обеспечивать, как правило, комплексное изучение природных условий территорий предполагаемого, намеченного или проектируемого строительства. Материалы и данные изысканий должны быть достаточны для обоснования возможности размещения объектов, проектирования и строительства новых, расширения, реконструкции и технического перевооружения, существующих с учетом рационального использования и охраны природной среды и для составления прогнозов ее изменений в результате реализации планируемой деятельности при строительстве и эксплуатации объектов.

Изыскания могут проводиться:

- задолго до проектирования конкретных объектов на стадии решения градостроительных задач, выбора площадок для крупного строительства;
- непосредственно перед проектированием конкретных объектов (для подготовки проектной документации), т. е. для получения исходных данных для расчетов и конструирования элементов зданий или сооружений (делается всегда);
- в ходе строительства, когда выявляются недоработки или ошибки в ранее проведенных изысканиях, а также при внесении крупных изменений в проект, при существенных

изменениях природных условий с момента проведения первоначальных изысканий (чаще всего после стихийных бедствий);

- в ходе эксплуатации, когда возникает необходимость реконструкции эксплуатируемых зданий и сооружений.

По направленности изыскания делятся на экономические и технические. *Экономические* изыскания проводят для определения географического района размещения и экономической целесообразности строительства, реконструкции или расширения существующего объекта строительства. *Технические* изыскания заключаются во всестороннем изучении природных условий района строительства, для рационального размещения зданий и сооружений на местности, а также для разработки проектных решений.

Технические (инженерные) изыскания, в зависимости от изучаемого фактора, подразделяются на следующие виды:

- инженерно-геодезические (топографо-геодезические),
- инженерно-геологические,
- гидрогеологические,
- гидрологические,
- гидрометеорологические,
- почвенно-грунтовые,
- климатологические,
- геоботанические изыскания;
- изыскания месторождений местных строительных материалов;
- обследование состояния существующих сооружений;
- сбор данных для составления проекта организации строительства и смет.

Инженерно-геодезические и инженерно-геологические изыскания проводятся всегда, т. е. при любом виде строительства, для любых объектов. В возведении объектов массового

строительства (промышленного, гражданского) в 90–95% случаев обычно ограничиваются именно этими двумя видами изысканий, но при их выполнении могут попутно решаться (без углубленного изучения) отдельные вопросы других видов изысканий. Остальные виды изысканий проводятся по мере необходимости, в зависимости от конкретных условий и особенностей проектируемого объекта.

Технические изыскания выполняют в три периода: подготовительный, полевой и камеральный. В *подготовительный* период собирают и изучают необходимые данные по объекту изысканий и намечают организационные мероприятия по проведению изыскательских работ. В *полевой* период, кроме полевых работ, производят часть камеральных и лабораторных работ, необходимых для обеспечения непрерывности полевого изыскательского процесса и контроля полноты и точности полевых работ. В *камеральный* период осуществляют обработку всех полевых материалов. Используемые материалы предыдущих изысканий уточняют путем полевых обследований и проведения полевых и камеральных работ в требуемом объеме. Объем и точность изыскательских работ должны соответствовать требованиям проектирования и строительства, а также предусматривать возможность их использования впоследствии.

Инженерные изыскания выполняют тресты инженерных изысканий и проектно-изыскательские организации соответствующих министерств и ведомств.

Инженерно-геодезические изыскания — это изучение и отражение на плане рельефа рассматриваемой местности, расположения на ней существующих сооружений (надземных и подземных). На основе таких изысканий производится составление карт, планов, профилей и других материалов, необходимых для строительного проектирования. Инженерно-

геодезические изыскания являются обязательным элементом строительного цикла, так как любой проектируемый объект должен быть приспособлен к конкретной местности, ее рельефу.

Инженерно-геодезические изыскания должны обеспечивать возможность проектирования, строительства и реконструкции предприятий, зданий и сооружений; решения вопросов градостроительства, землеустройства и выполнения других видов изысканий.

Геодезической основой при инженерно-геодезических изысканиях являются пункты опорных геодезических сетей, точки съемочных сетей и точки фотограмметрического сгущения. Координаты и высоты пунктов (точек) геодезических сетей следует вычислять в местных системах прямоугольных координат и в Балтийской системе высот 1977 года. При выполнении инженерно-геодезических изысканий в населенных пунктах, на площадках действующих промышленных комплексов, предприятий и организаций, расположенных за пределами населенных пунктов, должна быть сохранена ранее принятая система координат и высот.

Инженерно-геодезические изыскания на незастроенной территории, выполняемые для решения частных задач, на небольших участках, когда стоимость работ по прокладке привязочных ходов равна или превышает стоимость изысканий на самой площадке, допускается выполнять в условной системе координат с ориентированием съемочной геодезической сети по магнитному азимуту.

С целью обеспечения единства и точности измерений, все геодезические приборы должны подвергаться поверкам, выполняемым ведомственной метрологической службой. Результаты поверок геодезических приборов ведомственной метрологической службой должны быть оформлены одним из следующих способов:

- выдачей свидетельства о ведомственной поверке;

- записью результатов поверки в паспорте прибора;
- записью результатов поверки в специальном журнале ведомственной метрологической службы.

Результаты основных поверок и юстировок геодезических приборов, выполняемых исполнителем перед началом полевых работ, фиксируются в соответствующих полевых журналах.

Объем камеральных работ, выполняемых в полевых условиях, должен обеспечить возможность контроля качества и полноты выполняемых полевых работ.

В состав инженерно-геодезических изысканий входят:

- сбор и анализ материалов и данных изысканий прошлых лет;
- построение (развитие) опорных геодезических сетей 3 и 4 класса, 1 и 2 разряда и нивелирных сетей II, III и IV класса;
- создание планово-высотной съемочной геодезической сети;
- топографическая съемка в масштабах 1:10 000-1:500 со съемкой подземных и надземных сооружений;
- обновление инженерно-топографических планов в масштабах 1:10 000 - 1:500;
- геодезические работы по трассам линейных сооружений;
- перенесение в натуру и привязка инженерно-геологических выработок, геофизических и других точек;
- инженерно-гидрографические работы;
- геодезические работы для изучения опасных геологических процессов;
- геодезические работы для обоснования проектов реконструкции и технического перевооружения существующих предприятий, зданий и сооружений, включая их наружные обмеры, координирование, съемки подземных и надземных сооружений, существующих магистралей;

- составление и размножение инженерно-топографических планов.

Инженерные изыскания должны выполняться по заданию на изыскания и программе изысканий с учетом их стадии, класса ответственности зданий и сооружений, изученности и сложности природных условий района (пункта, площадки, участка, трассы).

Выделяются следующие стадии изысканий:

- для предпроектной документации;

- для проекта (при изысканиях в одну стадию - для рабочего проекта);

- для рабочей документации;

- в период строительства;

- по окончании строительства.

Изыскания для предпроектной документации

При инженерно-геодезических изысканиях на площадках выполняются следующие полевые работы:

- обследование пунктов опорной геодезической сети и в случае необходимости ее восстановление (создание);

- топографические съемки в случае отсутствия топографических карт и планов в масштабах, необходимых для разработки предпроектной документации;

- обновление имеющихся топографических планов и карт в случае несоответствия их современному состоянию ситуации и рельефа;

- инженерно-гидрографические съемки рек и водоемов;

- перенесение в натуру и привязка инженерно-геологических выработок, геофизических и других точек;

- геодезические работы при выполнении режимных наблюдений по изучению опасных геологических процессов.

Для разработки предпроектной документации уникальных объектов могут выполняться геодезические измерения с целью выявления движений земной коры.

Инженерно-геодезические изыскания *трасс линейных сооружений* выполняются по утвержденным направлениям. В состав изысканий входит:

- сбор и анализ имеющихся топографо-геодезических материалов по направлению трассы;
- камеральное трассирование вариантов трассы;
- полевое обследование камерально намеченных вариантов трассы;
- полевое трассирование с проложением теодолитных или тахеометрических ходов;
- топографическая съемка вдоль намеченных вариантов трассы, мест индивидуального проектирования, а также переходов через искусственные и естественные препятствия, пересечений коммуникаций, площадок и др.;
- геодезическое обеспечение других видов изысканий.

При изысканиях автомобильных и железных дорог, магистральных каналов по намеченным вариантам допускается выполнять топографическую съемку полосы, обеспечивающей возможность проектирования вариантов трассы.

Изыскания для проекта

Инженерно-геодезические изыскания для проекта (рабочего проекта) должны обеспечить получение топографо-геодезических материалов для разработки генерального плана объекта (определение оптимального положения трассы), доработки и детализации проектных решений, принятых на стадии предпроектной документации, уточнения технико-экономических показателей.

При инженерно-геодезических изысканиях для разработки проекта на площадках должны выполняться:

- сбор и анализ материалов инженерно-геодезических изысканий прошлых лет;
- построение (развитие) опорных геодезических сетей;

- создание планово-высотной съемочной геодезической сети;
- топографические съемки (обновление инженерно-топографических планов);
- инженерно-гидрографические работы;
- геодезическое обеспечение других видов изысканий;
- составление и размножение инженерно-топографических планов.

Инженерно-геодезические изыскания трасс линейных сооружений выполняются по утвержденным направлениям. В состав изысканий входит:

- сбор и анализ имеющихся топографо-геодезических материалов по направлению трассы;
- камеральное трассирование вариантов трассы;
- полевое обследование камерально намеченных вариантов трассы;
- полевое трассирование с проложением теодолитных или тахеометрических ходов;
- топографическая съемка вдоль намеченных вариантов трассы, мест индивидуального проектирования, а также переходов через искусственные и естественные препятствия, пересечений коммуникаций, площадок и др.;
- геодезическое обеспечение других видов изысканий.

При изысканиях автомобильных и железных дорог, магистральных каналов по намеченным вариантам допускается выполнять топографическую съемку полосы, обеспечивающей возможность проектирования вариантов трассы. Ширина полосы местности, подлежащей топографической съемке вдоль трассы, устанавливается, в зависимости от местных условий, заданием программой работ, но не менее 40 м, на незастроенной территории и в пределах фасадов зданий по улицам и проездам на застроенной территории.

Изыскания для рабочей документации

При инженерно-геодезических изысканиях для рабочей документации на площадках строительства выполняются:

- развитие (сгущение) опорных и съемочных геодезических сетей;
- топографические съемки или обновление инженерно-топографических планов;
- инженерно-гидрографические работы;
- геодезическое обеспечение других видов изысканий;
- составление и размножение планов.

Для реконструкции и расширения действующих предприятий в соответствии с требованиями задания дополнительно выполняются:

- координирование углов капитальных зданий (сооружений), центров стрелочных переводов и вершин углов железнодорожных путей, колодцев, камер, опор инженерных коммуникаций и других точек;
- детальное обследование инженерных коммуникаций, подлежащих реконструкции или переустройству, а также опор или колодцев (камер) в местах подключения проектируемых коммуникаций;
- съемка внутривысотных железных и автомобильных дорог;
- детальные наружные обмеры зданий (сооружений) и установок;
- геодезическое обеспечение режимных наблюдений, включая наблюдения за деформацией зданий и сооружений.

В состав инженерно-геодезических изысканий по трассам линейных сооружений входят:

- полевое трассирование;
- плано-высотная привязка трассы к пунктам опорной геодезической сети;
- топографическая съемка полосы местности вдоль трассы (съемка текущих изменений при наличии планов съемок прошлых лет);

- геодезическое обеспечение других видов изысканий.

В состав работ при полевом трассировании входят:

- проложение теодолитных (тахеометрических) ходов по оси трассы с закреплением углов поворота и створных точек;

- закладка реперов;

- разбивка пикетажа, элементов кривых и поперечных профилей;

- нивелирование по трассе и поперечным профилям.

На застроенной территории вместо полевого трассирования допускается выполнение крупномасштабной топографической съемки полосы по выбранной трассе с последующей камеральной укладкой трассы. Ширина полосы съемки вдоль трассы устанавливается в пределах до 100 м на незастроенной территории и в пределах ширины проезда (улицы) на застроенной территории. При соответствующем обосновании допускается увеличение ширины полосы съемки, а на участках пересечений и сближений трасс с существующими коммуникациями ширина полосы съемки принимается с учетом обеспечения проектирования переустройств и переносов.

Для магистральных трубопроводов и существующих железных дорог ширина полосы съемки принимается соответственно в пределах охранной зоны трубопровода или полосы отвода железной дороги.

Задание на изыскания изыскательской организации (предпринимателю) выдается проектной организацией - генеральным проектировщиком, подразделению проектно-изыскательской организации - главным инженером проекта, с привлечением в необходимых случаях к составлению задания изыскательской организации (подразделения).

На изыскания или отдельные работы для изучения природных условий (рельефа, свойств грунтов, гидрометеорологических, гидрогеологических, геоэкологических условий и

др.), геодезические работы при строительстве и эксплуатации объектов (создание разбивочных сетей, исполнительные съемки, съемки фасадов и интерьеров, наблюдения за деформациями оснований и др.), выявление или уточнение расположения подземных коммуникаций, погребенных остатков подземных частей зданий и сооружений, бурение эксплуатационных скважин на воду и другие исследования (работы), непосредственно не связанные с разработкой проектов нового строительства, расширения, реконструкции и технического перевооружения предприятий, зданий и сооружений, задание может быть выдано и не проектной организацией.

Задание на изыскания (техническое задание) отражает общую направленность, цель и задачи намечаемых работ.

Техническое задание на выполнение инженерных изысканий для строительства составляется заказчиком, как правило, с участием исполнителя инженерных изысканий; подписывается руководством организации (заказчиком) и заверяется печатью. Техническое задание на выполнение инженерных изысканий может выдаваться как на весь комплекс инженерных изысканий, так и раздельно, по видам инженерных изысканий и стадиям проектирования. Техническое задание на выполнение инженерных изысканий для строительства должно содержать следующие сведения:

- наименование объекта;
- вид строительства (новое строительство, реконструкция, расширение, техническое перевооружение, консервация, ликвидация);
- о стадийности, сроках проектирования и строительства;
- характеристику проектируемых и реконструируемых предприятий (геотехнические категории объектов), уровни ответственности зданий и сооружений;
- характеристику ожидаемых воздействий объектов строительства на природную среду;

- необходимые исходные данные для обоснования мероприятий по рациональному природопользованию и охране природной среды, обеспечению устойчивости проектируемых зданий и сооружений и безопасных условий жизни населения;
- сведения и данные о проектируемых объектах, мероприятиях инженерной защиты территорий, зданий и сооружений, о необходимости санации территории;
- цели и виды инженерных изысканий;
- перечень нормативных документов;
- данные о местоположении и границах площадки или трассы строительства;
- сведения о ранее выполненных инженерных изысканиях и исследованиях;
- дополнительные требования к производству отдельных видов инженерных изысканий, включая отраслевую специфику проектируемого сооружения;
- требования к точности, надежности, достоверности и обеспеченности необходимых данных и характеристик при инженерных изысканиях для строительства;
- требования к составлению и содержанию прогноза изменений природных и техногенных условий;
- сведения о необходимости выполнения исследований в процессе инженерных изысканий;
- требования к оценке опасности и риска от природных и техноприродных процессов;
- требования к составу, срокам, порядку и форме представления изыскательской продукции заказчику;
- требование о составлении и представлении в составе договорной документации программы инженерных изысканий на согласование заказчику;
- наименование и местонахождение организации заказчика, фамилия, инициалы и номер телефона (факса) ответственного его представителя.

Техническое задание дополнительно должно содержать:

- сведения о принятой системе координат и высот; – данные о границах и площадях топографической съемки (обновления планов);
- указания о масштабе топографической съемки и высоте сечения рельефа по отдельным площадкам, включая требования к съемке подземных и надземных сооружений;
- данные к трассированию линейных сооружений;
- требования к стационарным геодезическим наблюдениям в районах развития опасных природных и техноприродных процессов;
- требования к составу, форме и срокам представления отчетной технической документации.

К техническому заданию должны прилагаться графические и текстовые документы, необходимые для организации и проведения инженерных изысканий на соответствующей стадии проектирования:

- копии имеющихся топографических карт, инженерно-топографических планов, ситуационных планов (схем) с указанием границ площадок, участков и направлений трасс, генеральных планов (схем) с контурами проектируемых зданий и сооружений, картограммы,
- копии решений органа местного самоуправления о предварительном согласовании места размещения площадок (трасс) или акта выбора площадки (трассы) строительства, копия решения органа исполнительной власти о предоставлении земель для проведения изыскательских работ и исследований,
- копии договоров с собственниками земли и другие необходимые материалы.

Проект (программа) составляется на полный комплекс изыскательских работ и является основным документом, который состоит из текстовой части и приложений.

Проект составляют для комплекса работ, требующих предварительной разработки специальных методов их выполнения и расчета точности создаваемых геодезических сетей, а также при изысканиях для строительства крупных и сложных предприятий и сооружений или при выполнении работ в сложных природных условиях (в районах распространения оползней, селей, лавин, карста, сейсмоактивных районах).

Программа производства геодезических изысканий составляется для несложного и небольшого по объему комплекса работ (создается по типовым схемам) и является внутренним документом исполнителя инженерных изысканий. При отсутствии требования заказчика о включении программы инженерных изысканий в состав договора (контракта) допускается взамен программы составлять предписание на производство инженерных изысканий. Программа инженерных изысканий должна полностью соответствовать техническому заданию заказчика и содержать его требования, принятые к выполнению исполнителем инженерных изысканий.

При составлении программы и проведении изысканий необходимо максимально использовать материалы ранее выполненных изысканий (работ), специальных исследований, научные и научно-технические публикации и разработки, справочные данные и другую полезную информацию о природных условиях изучаемой территории.

Программу изысканий следует согласовывать с организацией (предпринимателем), выдавшей задание на изыскания, в части соответствия программы требованиям задания.

ЛЕКЦИЯ № 2. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ, ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Инженерно-геологические изыскания должны обеспечивать изучение инженерно-геологических условий района (участка) строительства, включая геоморфологическое и геологическое строение, литологический состав, состояние и физико-механические свойства грунтов, гидрогеологические условия, неблагоприятные физико-геологические процессы и явления, а также составление прогноза изменения инженерно-геологических и гидрогеологических условий при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

В состав инженерно-геологических изысканий входят:

- сбор, анализ и обобщение данных о природных условиях района (участка) строительства, включая материалы изысканий прошлых лет;
- инженерно-геологическая рекогносцировка;
- инженерно-геологическая съемка;
- инженерно-геологическая разведка.

Инженерно-геологические изыскания выполняются при проектировании различных зданий, сооружений и их комплексов. В необходимых случаях они могут быть продолжены в период строительства, эксплуатации, реконструкции и ликвидации объектов.

Инженерно-геологические изыскания - это комплекс полевых, лабораторных и камеральных работ, которые выполняются для обеспечения строительного проектирования исходными данными об инженерно-геологических условиях района (площадки, участка, трассы) проектируемого строительства.

Под *инженерно-геологическими условиями* понимается совокупность компонентов геологической среды, которые могут оказать влияние на проектируемые здания и сооружения

(рельеф и геоморфологические условия, геологическое строение, подземные воды, состав, состояние и свойства грунтов, геологические и инженерно-геологические процессы).

Инженерно-геологические изыскания для строительства выполняются в соответствии с действующими строительными нормами и правилами, сводами правил, государственными стандартами, а также ведомственными строительными нормами и инструкциями.

При строительстве важнейшим является прогноз взаимодействия проектируемого здания и сооружения с геологической средой. Инженерно-геологические условия строительства на территории нашей страны очень разнообразны. Столь же многообразны назначение и конструктивные решения проектируемых объектов, поэтому производство инженерно-геологических изысканий для различных видов строительства имеет ряд своих, специфических особенностей.

Однако, несмотря на специфику отдельных видов строительства, основными задачами инженерно-геологических изысканий для всех видов строительства являются:

- составление программы изысканий;
- изучение инженерно-геологических условий, влияющих на выбор строительной площадки (трассы), размещения на них конкретных сооружений, расчета их конструкции, режима эксплуатации и др.;
- выделение инженерно-геологических элементов (ИГЭ) и получение нормативных и расчетных характеристик грунтов, необходимых для выбора несущего основания, типа и глубины заложения фундаментов, способов производства строительных работ и др.;
- получение необходимой для оптимального проектирования объекта исходной гидрогеологической информации (типы и глубина залегания подземных вод, химический состав и агрессивность подземных вод, направление и скорость дви-

жения, фильтрационные параметры водоносных пластов, режим и др.);

- оценка и прогноз развития опасных геологических процессов, влияющих на устойчивость проектируемых зданий и сооружений; разработка мер инженерной защиты;

- оценка обеспеченности района строительства необходимыми местными строительными материалами и источниками водоснабжения; при недостаточности обеспеченности - поиски их и разведка;

- сведение к минимуму негативного влияния производства инженерно-геологических изысканий на окружающую природную среду (экологические системы, природные ландшафты и природные комплексы);

- представление отчетов об инженерно-геологических изысканиях для обоснования предпроектной, проектной и другой документации, с аргументированными выводами и рекомендациями, необходимыми текстовыми и графическими приложениями.

Инженерно-геологические изыскания должны проводиться с использованием современных методов и средств в минимально короткие сроки при минимальных затратах труда и материальных средств. В необходимых случаях в состав инженерно-геологических изысканий могут быть включены и другие виды работ, например, обследование грунтов оснований фундаментов существующих зданий и сооружений, сейсмологические исследования и др.

Объем и содержание инженерно-геологических изысканий в каждом конкретном случае зависит от:

- 1) категории сложности инженерно-геологических условий площадки (участка);

- 2) степени их изученности;

- 3) стадий (этапов) проектирования;

- 4) вида (назначения) зданий и сооружений (трасс) и уровня их ответственности.

В целом, в состав инженерно-геологических изысканий входят:

- сбор и обработка материалов изысканий прошлых лет; дешифрирование космо-, аэрофотоматериалов и аэровизуальные наблюдения;
- маршрутные наблюдения (рекогносцировочное обследование);
- проходка горных выработок;
- геофизические исследования;
- полевые исследования грунтов;
- гидрогеологические исследования; сейсмологические исследования;
- сейсмическое микрорайонирование;
- стационарные наблюдения;
- лабораторные исследования грунтов и подземных вод; обследование грунтов оснований существующих зданий и сооружений;
- камеральная обработка материалов;
- составление прогноза изменений инженерно-геологических условий; оценка опасности и риска от геологических и инженерно-геологических процессов;
- составление технического отчета.

Инженерно-геологические изыскания выполняют в три *периода*:

1) подготовительный, включающий подготовку и оформление задания на проведение изысканий; сбор и анализ ранее выполненных изысканий; составление программы изысканий;

2) полевой, включающий рекогносцировку территории; инженерно-геологическую съемку; гидрогеологическую съемку; геофизическую разведку (электро-, сейсмо-, магнитная и гравиметрическая разведки); горноразведочные и буровые работы; стационарные наблюдения; полевые опытные работы и лабораторные исследования;

3) камеральный, связанный с составлением отчета; инженерно-геологических разрезов; геолого-литологической, геоморфологической, гидрогеологической и других карт.

Инженерно-геологическая съемка ведется в разных масштабах:

- при составлении проекта планировки и размещения первоочередного строительства – 1:5000 – 1:25000;
- для разработки проекта детальной планировки и застройки укрупняется до масштаба 1:1000 – 1:2000.

В процессе съемки изучают, фотографируют и описывают естественные и искусственные обнажения горных пород, геоморфологические элементы и геологические явления, проявления водоносности, определяют местоположение геологических выработок, производят отбор проб горных пород и подземных вод для лабораторных исследований, обследуют состояние существующих инженерных сооружений и месторождений строительных материалов. Результаты съемки отражаются в дневнике и полевых картах. Может проводиться аэро- и наземная инженерно-геологическая съемка (маршрутная или площадная).

Инженерно-геологические карты составляют на основе топографических карт. Для составления карт используют результаты геологической съемки, геофизических и геохимических исследований, результаты изучения образцов горных пород, руд, флоры и фауны, гидрологических и инженерно-геологических наблюдений, опробования полезных ископаемых, проходки горных выработок и буровых скважин. Привязка обнажений, скважин, шурфов и других выработок производится по имеющимся топографическим картам наиболее крупного масштаба, фотопланами фотосхемам или к пунктам геодезической сети.

Геофизические методы разведки основаны на изучении физических явлений и процессов, обусловленных строением Земли и земной коры.

Электроразведка основана на изучении условий прохождения электрического тока через различные горные породы (изучение разности электропроводности) (рис.1). Используется с целью геологического картирования при инженерно-геологических изысканиях различных сооружений.

При применении электроразведки для поиска полезных ископаемых выполняется ряд исследовательских действий:

- определение формы, размера и других физических свойств полезных ископаемых;
- определение глубины их залегания относительно земной поверхности, а также вычисления приблизительных запасов залежей полезных ископаемых;
- изучение всех геологических объектов, которые находятся в зоне исследования, в том числе подземные воды и нефтяные месторождения;
- поиски месторождений определенных полезных ископаемых (рудные поля, нефтеносные источники и другие);
- оценка вещественных составляющих, которые присутствуют в полезных ископаемых на исследуемой территории;
- решение геологических, геофизических и горно-технических задач, которые необходимы для получения высоких результатов эффективности добычи и переработки того или иного полезного ископаемого;
- и завершающий этап проведения геофизических исследований скважин с полезными ископаемыми - геологическое картирование исследуемого участка земной коры и внесение всех данных в соответствующую отчетную документацию по всем правилам нормативной документации.

Без электроразведки скважин не обходится любое поисковое мероприятие, связанное с изучением структуры строения зем-

ной поверхности и поиском полезных ископаемых. Данный метод основан на исследовании межскважинного пространства с помощью возбуждения поля внутри скважин и на земной поверхности, и в дальнейшем его же изучения. Именно при помощи метода электроразведки мы создаем такое электрическое поле, которое воздействует на исследуемый тип полезных ископаемых. Для проведения высокоэффективной электроразведки скважин используется современное техническое и компьютерное оснащение, которое помогает получить точные результаты исследования.

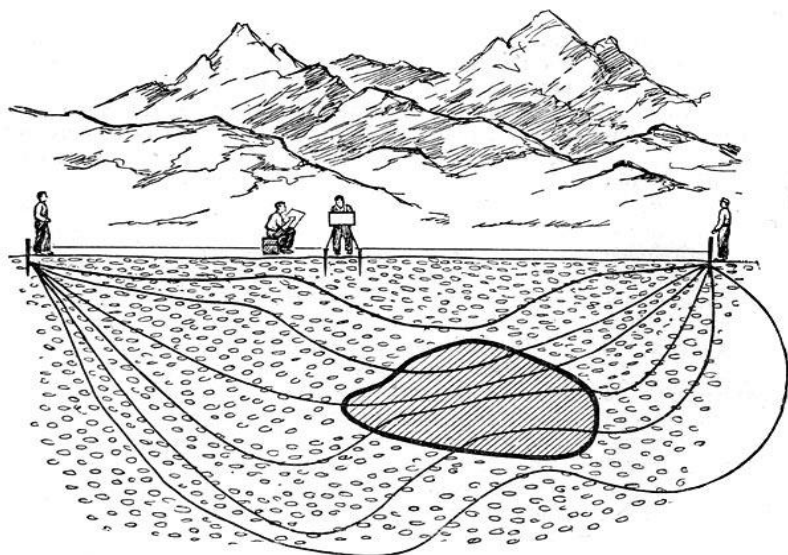


Рис.1 Электроразведка

Геодезическое обеспечение электроразведки состоит в разбивке на местности профиля или системы параллельных профилей, закреплении на местности точек наблюдений. Плановая погрешность – 2 мм в масштабе карты, высотная – 2 % от глубины залегания опорного горизонта.

Магнитная разведка основана на изучении особенностей геомагнитного поля Земли, то есть изучаются магнитные свойства горных пород. Различают площадную и маршрутную (профильную) магнитную съемку. Приборы для магнитной разведки (магнитометры (рис.2)) характеризуются разнообразием принципов устройства. В настоящее время в основном используют четыре типа магнитометров — оптико-механические, феррозондовые, протонные и квантовые.



МАГНИТОМЕТР ПЕРЕНОСНОЙ ПРОТОННЫЙ POS-1

Рис.2 Магнитометр

К геодезическим работам при магнитной разведке можно отнести маршрутную съемку при поисковых работах, точность измерения расстояний допускается порядка 1:50. В случае обнаружения аномалий ведется площадная съемка, прокладывают систему параллельных маршрутов. Плановая привязка выполняется с точностью 1 – 2 мм в масштабе карты, высоты, как правило, не определяются.

Сейсмическая разведка основана на наблюдениях за скоростью распространения упругих волн в земной коре, вызванных искусственными сотрясениями (взрывы, удары). Сейсморазведка применяется для изучения строения земной коры, поисков и подготовки к разведочному бурению нефтегазоносных структур и др. Сейсморазведка ведется одиночными маршрутами с шагом 2 – 10 м и площадями, производится методом отраженных волн или корреляционным методом преломленных волн.

Сейсмические исследования 3D+ВСП

- 1 Буровая вышка
- 2 Скважина
- 3 Датчики в скважине
- 4 Датчики на поверхности
- 5 Комплекс генерации сейсмического сигнала
- 6 Центр сбора сейсмических данных

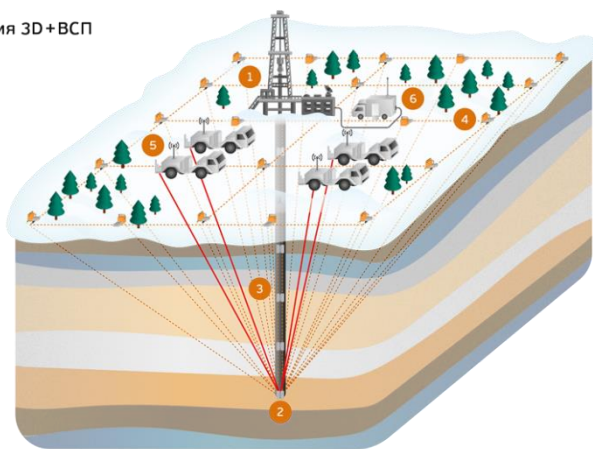


Рис. 3 Сейсмические исследования

Геодезическое обеспечение сейсморазведки состоит в разбивке на местности профилей с закреплением на них точек взрыва и точек расположения сейсмоприемников, также производится определение координат и высот этих точек, составлении вертикальных разрезов по линии профиля. Погрешность в положении профиля по отсчетной карте относительно пунктов плановой геодезической основы не должна превышать 2 мм, а в высотном положении в зависимости от скорости распространения волн от 3 см при $v = 200$ м/с до 1 м при $v = 5000$ м/с.

Гравиметрическая разведка основана на измерениях силы тяжести, которые ведутся специальными приборами – гравиметрами, вариометрами и градиентометрами. Чаще всего используются гравиметры Scintrex CG-5 (микрогалевая точность) и ГНУ-КВ (миллигалевая точность), высокоточные геодезические комплексы GPS Trimble 5700 (сантиметровая точность в плане и по высоте) (Рис.4).



Рис. 4 Приборы для гравиметрической разведки

Применяется для тектонического районирования больших территорий, выявления и локализации геологических структур с пониженной плотностью, благоприятных для скопления полезных ископаемых (нефти, газа, отчасти – угля). Гравиметрические пункты располагают на четких, хорошо опознаваемых контурах местности. Гравиметрические работы ведутся для определения аномалий силы тяжести, по которым составляются специальные гравиметрические карты.

Геодезические работы при гравиметрической съемке заключаются в определении координат и высот пунктов наблюдений, учете влияния рельефа местности и подготовке топографической основы для составления гравиметрических карт. Для введения поправки за рельеф на площадке вокруг гравиметрического пункта выполняют нивелирование. В настоящее время применяется и аэрогравиразведка с усовершенствованными морскими гравиметрами. Однако этот метод находит ограниченное применение как малопроизводительный и дорогостоящий для изысканий.

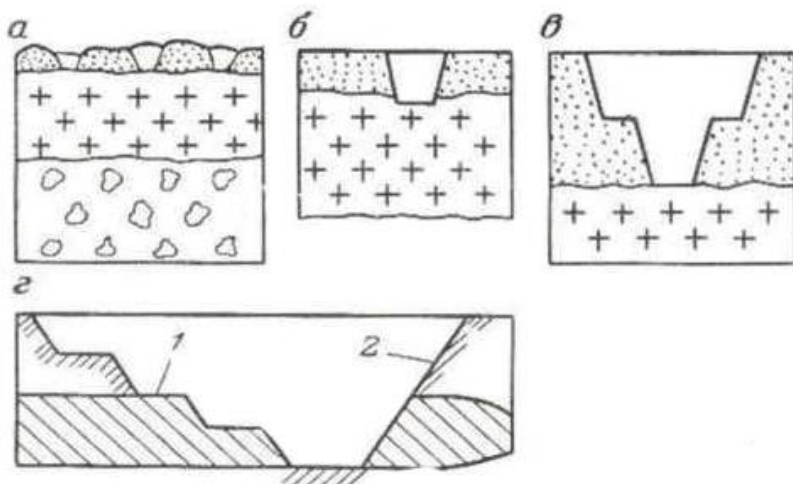
Горно-разведочные и буровые работы ведутся с целью поиска подземных ископаемых и осуществления съемочных работ при проведении инженерно-геологических изысканий. Они необходимы для отыскания наиболее благоприятного места для расположения инженерного сооружения и оценки инженерно-геологических условий выбранного для строительства участка. Данный вид работ позволяет определить напластования грунтов и их характеристики более детально, нежели при выполнении инженерно-геологической съемки. Расстояния между выработками могут составлять 20 – 200 м в зависимости от вида проектируемого сооружения.

Горные выработки в инженерных изысканиях (иначе инженерно-геологические или инженерные выработки) представляют собой полости, выполняемые в грунте в целях его изучения. Горные выработки могут быть открытыми и подземными (рис. 5, 6). Кроме того, различают вертикальные, наклонные и горизонтальные выработки. К открытым выработкам относятся: прикопка, полушурф, шурф, карьер, расчистка, канава, траншея, шахта, штольня. К подземным можно отнести: гезенок, тоннель, квершлаг, штрек, уклон, скат, камера.

Горно-разведочные работы предварительно проектируют на топографической основе, а затем выработки перено-

сят в натуру. Для устройства горных выработок выполняют *маркшейдерские работы*, которые состоят из:

- разбивки горных выработок, задания их направления,
- контроля за состоянием выработок, выполнения горизонтальной и вертикальной съемок,
- соединительной съемки (ориентирования),
- составления маркшейдерских планов и разрезов,
- изучения геометрии залегания и качества полезного ископаемого,
- составления горнометрических графиков.



Открытые горные выработки:

а — расчистка; б — канава; в — траншея; г — карьер; 1, 2 — рабочий и нерабочий борта карьера

Рис. 5 Открытые горные выработки

При горно-разведочных работах обнажаются значительные участки месторождений, что позволяет определить элементы залегания и зарисовать или сфотографировать их.

Подземные горные выработки

- а – шурф
- б – шурф с квершлагом
- в – шурф с рассечкой
- г – шурф со штреком
- ж- штольня продольная
- и- штольня поперечная
- л- шахтный ствол с квершлагами, штреком.

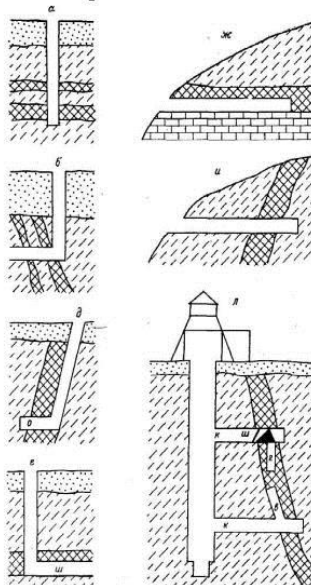


Рис.6 Подземные горные выработки

Буровые работы выполняют для:

- определения параметров, нужных для подсчета запасов полезных ископаемых;
- изучения геологических разрезов;
- дают возможность выявления последовательности залегания пластов, их мощности, состава, плотности, влажности, водоносности,
- отбора образцов пород, проб воды и испытания грунтов.

В процессе бурения горные породы разрушаются и образуется цилиндрическая горная выработка для взрывных работ – шпур (диаметром до 75 мм и глубиной до 6 м) или скважина (диаметром более 75 мм и глубиной свыше 6м).

Скважины при инженерно-геологических изысканиях проходят диаметром от 89 до 168 мм, для гидрогеологических работ – 253 мм и более.

Различают механизированное, термическое и ручное бурение. Последние десятилетия почти все работы по проходке (бурению) скважин производятся механизированным способом с помощью буровых станков, смонтированных на базе автомобилей (рис. 7).

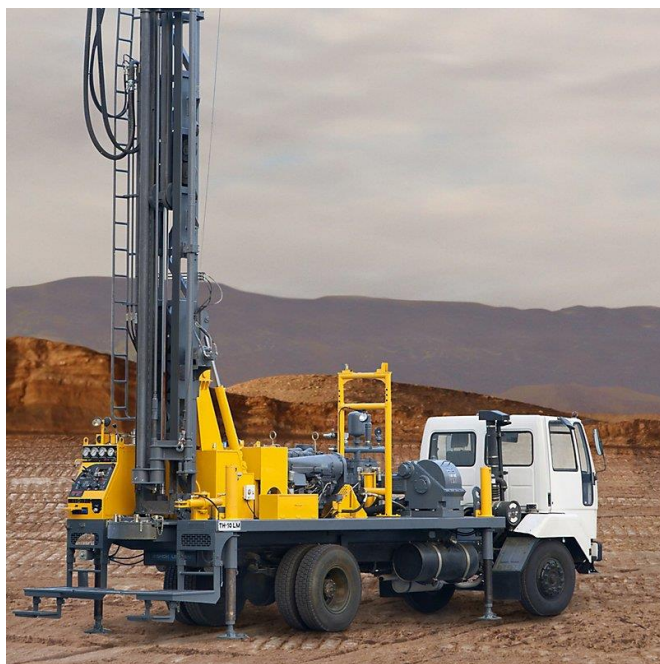


Рис.7. Буровая установка

Бурение скважин выполняют ударным, вращательным и вибрационным способами. Из скважин отбирают керны через определенные интервалы с забоя или стенок скважины грунтоносом, они используются для определения элементов залегания пород.

Скважины по своему назначению подразделяются на три вида:

- разведочные, проходимые в основном для установления инженерно-геологического разреза (иногда с отбором проб грунта нарушенной структуры);
- технические, проходимые, кроме того, для отбора проб ненарушенного сложения (монолитов), нужных для определения физико-механических и других свойств грунтов;
- специальные, проходимые в основном для полевых испытаний грунтов (испытания штампом, прессиометром, лопастным прибором и т. д.), гидрогеологических и геофизических исследований.

По результатам буровых журналов составляются инженерно-геологические разрезы, направление разрезов выбирается с таким расчетом, чтобы с наибольшей полнотой отразить характеристики грунтов. Также проводятся мероприятия по поиску месторождений местных строительных материалов (песка, галечника, камня и др.) для установления запасов материалов, их качества и выяснения условий эксплуатации (мощность, наличие подземных вод и др.).

Исследование и испытания грунтов. Для успешного расчета оснований инженерных сооружений необходимо хорошо знать основные строительные свойства грунтов, таких, как объемный и удельный вес, влажность, пористость, консистенция, модуль деформации, сцепление, сопротивление сдвигу. В основном характеристики грунтов получают лабораторным путем (испытания горных пород). Но эти исследования могут быть выполнены и полевыми методами, чаще всего это необходимо для уточнения расчета основания сооружения – это сопротивление грунта сжатию и сдвигу.

В настоящее время в изыскательской практике наибольшее распространение получили следующие методы механических испытаний:

1. статическое зондирование — вдавливание в грунт специального стержня с коническим наконечником (зонда) и измерение сопротивлений грунта такому вдавливанию;

2. динамическое зондирование — забивка в грунт зонда специальным молотом с подсчетом числа ударов этого молота на единицу длины погружения зонда (обычно 10 см);

3. испытание грунта штампом — статическое нагружение грунта с помощью специального устройства — штампа (площадь нагружения 5000 или 600 см²); определяется модуль деформации дисперсных (нескальных) грунтов;

4. испытания грунта прессиометром (прессиометрия) — статическое нагружение грунта в скважине, куда помещается специальная камера, создающая боковое (радиальное) давление на стенки скважины; определяется модуль деформации дисперсных (нескальных) грунтов;

5. вращательный срез (иначе, лопастной срез, испытание крыльчаткой) — испытание грунта на срез в скважине путем вдавливания в забой скважины специального лопастного прибора (крыльчатки) и вращения его вокруг вертикальной оси; определяется сопротивление срезу дисперсных (нескальных) грунтов (одним параметром);

6. испытание «эталонной (модельной) сваи» — погружение в грунт и статическое испытание сваи диаметром 114 мм, длиной такой же, как и проектируемые сваи (например, 10, 12, 15 м); определяется предельное сопротивление такой сваи, которое пересчитывается затем на проектируемую забивную сваю большего диаметра;

7. статические испытания натуральных свай; определяется предельное сопротивление натурной сваи;

8. опытно-фильтрационные работы — налив воды в скважину с замером интенсивности ее убывания (при сохранении уровня воды в скважине) или откачка воды из скважи-

ны с замером интенсивности ее притока; определяются коэффициенты фильтрации грунтов.

Среди перечисленных методов наибольшее значение в изыскательской практике имеет статическое зондирование. Зонд представляет собой заостренный металлический стержень диаметром 36 мм, внутри которого располагаются измерительные приспособления. Измеряется сопротивление грунта под нижним концом (конусом) и на боковой поверхности этого стержня — зонда. Зонд равномерно вдавливается в грунт. Погружение производится на глубину чаще всего 10–20 м (современные зондирующие установки позволяют погружать зонд в слабые грунты до 40–50 м).

Статическое зондирование — быстрый и дешевый метод, позволяющий производить за короткий срок большое количество измерений в разных точках площадки. С помощью этого метода можно определять несущую способность свай, прочностные и деформационные характеристики песчаных и глинистых грунтов, их физические свойства (плотность песков и консистенцию глинистых грунтов) и т. д. Точность определения характеристик грунта зондированием ниже, чем общепринятыми стандартными методами, но простота и быстрота таких определений делают статическое зондирование исключительно ценным методом, особенно когда зондирование используется в комплексе с другими методами изучения грунта.

На основании проведенных испытаний грунта изыскатель дает проектировщику не только результаты частных измерений, но и рекомендует расчетные характеристики грунтов, по которым проектировщик будет проводить расчеты оснований, оценивать устойчивость склонов, подпорных конструкций надземных и подземных сооружений и т. д. Выбор таких характеристик основывается на правилах математической статистики и регламентируется государственными стандартами.

В последнее время актуальны коррозионные изыскания, в которые входят исследования почвенной коррозии и электрокоррозии.

Инженерно-гидрологические изыскания. Данный вид изысканий необходим для:

- проектирования гидротехнических сооружений;
- водоснабжения населенных мест, промышленных предприятий, электростанций; мостовых переходов;
- переходов через реки трубопроводов и других линейных сооружений;
- рыбного хозяйства;
- водного транспорта;
- защиты территорий от наводнений и подтоплений,
- создания зон отдыха,
- научных целей (исследование водного обмена в водоемах, гидрохимические и гидробиологические исследования).

В состав гидрологических изысканий входят следующие виды работ:

- наблюдения за уровнями воды в реках, озерах и искусственных водоемах;
- определение уклонов, направлений и скоростей течения рек;
- промерные работы;
- русловые съемки;
- определение площадей живых сечений и площадей затопления;
- определение расходов воды в реках и объемов водохранилищ;
- изучение наносов твердого стока (речных наносов).

Геодезическое обеспечение гидрологических изысканий состоит в выполнении крупномасштабных съемочных и нивелирных работ на территории водомерных постов и гидрометеостанций, на створах плотин и участках переходов че-

рез реки, определении водосборных площадей, производстве русловых съемок, устройстве водомерных постов и организации наблюдений за уровнями воды, определении скоростей течения и уклонов рек. Важной задачей геодезиста является определение проектных отметок моста, высоты плотины и др.

Основной частью гидрологических изысканий являются гидрометрические работы, которые выполняют на гидрологических постах и станциях. Гидрологические станции относятся к гидрометеослужбе (материковые, речные, озерные, болотные, морские), предназначены для обслуживания отраслей народного хозяйства (судоходства, гидроэнергетики и др.).

На станциях ведутся регулярные наблюдения, там возникает необходимость в организации гидрометрического створа.

Гидрометрический створ располагают перпендикулярно к направлению реки. Его местоположение определяют от базисов, разбитых на берегу реки, и закрепленных двух поперечников. На створах определяют глубины, скорости течения, расходы воды и исследуют береговые и донные наносы.

На постах определяют уровни воды в реках, озерах, морях, водохранилищах относительно неподвижной плоскости, называемой *нулем наблюдений* (самый низкий уровень воды, когда-либо наблюдавшийся). Кроме нуля наблюдений, для каждого водомерного поста устанавливают *нуль графика* – условную плоскость, к которой приводятся результаты измерений уровня воды. За нуль графика принимается наиболее низкая отметка дна в створе поста или ниже его.

По способу определения уровня воды и применяемых приспособлений различают простые и передаточные водпосты. Простые посты делятся на речные, свайные и смешанные (речно-свайные). Передаточные посты бывают мостовые и с автоматической непрерывной передачей.



Рис. 8 Речной водомерный пост

Для каждого водпоста составляется технический список поста, к которому приводятся подробные сведения о местоположении поста, описание участка реки в районе поста, конструкция поста, отметки реперов, свай и реек, а также прилагаются: схематический профиль поста, поперечный профиль русла и план участка в районе расположения поста. Каждый пост имеет 1 – 2 репера, которые необходимы для определения отметки нуля наблюдений, отметок свай, реек и других приспособлений.

На водомерных постах производят нивелирные и промерные работы, выполняют русловые съемки. Нивелирование выполняют для передачи отметок от реперов государственной нивелирной сети на рабочие репера водпостов. Для определения уклонов водной поверхности и нахождения отметок подводного рельефа дна устанавливают сеть временных постов и точек однодневной связи (ТОС), с помощью которых выполняют наблюдения на отдельных участках реки и приводят их к одному моменту времени. Прокладывают двойной ход ниве-

лирования, допустимая невязка между прямым и обратным ходом – допустимая невязка

$$f_h = 30\sqrt{L_{км}}(\text{мм}) \quad (1)$$

Передача отметок с одного берега на другой может быть выполнена геометрическим или тригонометрическим нивелированием.

Русловые съемки ведут с целью получения крупномасштабных топографических планов (1:1000, 1:2000 и 1:5000). Размеры площади, подлежащей съемке, на участках водомерных постов и гидрометрических створов, определяют так: вдоль по течению 2 – 3 ширины реки, в сторону от берега – до границы, превышающей наивысший уровень паводковых вод на 1 м. Если площадь меньше 250 га, то в качестве планового обоснования используют полигонометрию 2 разряда или теодолитные ходы, а высотного – нивелирование IV класса. Основным методом съемки ситуации и рельефа берегов служит тахеометрическая съемка. На больших площадях применяется аэрофотосъемка.

Промерные работы ведут для составления планов водоемов, поперечных профилей русла реки, вычисления площадей живых сечений, изучения рельефа их дна, построения изобат, определения подводных навигационных опасностей, выявления удобного для прохода судов фарватера, мест подхода судов к берегу, определения объема дноуглубительных работ и выбора мест расположения гидротехнических сооружений. Они включают измерения глубин, скоростей и направления течения; координирования точек промеров. Измерения наиболее удобно производить в период низких вод (летняя межень). Для измерения глубины используются:

– наметки (деревянный шест до 6 м) – точность 3 – 5 см;

- лотлини (размеченный шнур со свинцовым или чугунным грузом) – точность 5 – 10 см;
 - речные и морские эхолоты – точность 10 см.
- Эхолоты (рис.8) позволяют получить эхограмму, представляющую профиль дна.

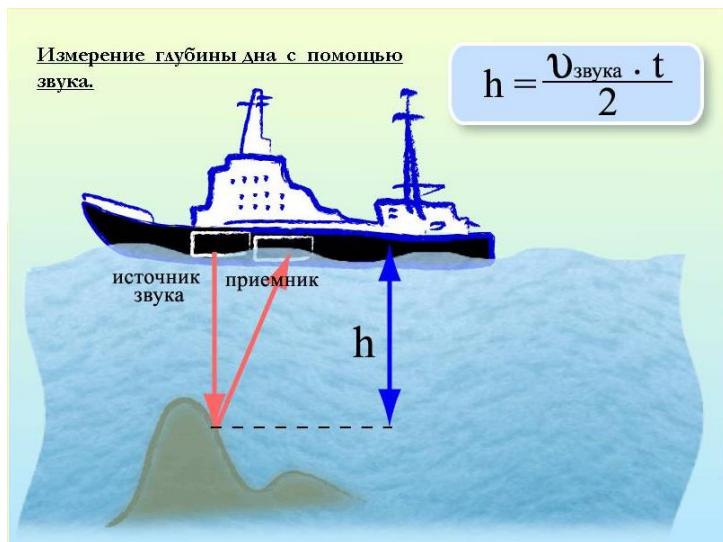


Рис. 8 Измерение глубин с помощью эхолота

При промерах необходимо знать не только глубину, но и место, к которому отнесена эта глубина. Плановое положение промерных вертикалей можно определить:

- оптическим дальномером по переброшенному через реку тросу;
- по размеченному металлическими бляшками или цветной тканью тросу, натянутому поперек реки;
- в зимнее время промерами по льду;
- прямой угловой засечкой;
- с помощью электронного тахеометра.

Оптический дальномер можно применить на нешироких и неглубоких реках, в теплое время года, когда рабочий

может войти в воду и установить рейку на дно в требуемом месте. Теодолит устанавливают на берегу на оси гидрометрического створа или промерного поперечника на точке с известным пикетажным значением или координатами. Точность данного способа

$$m/l = 1/300 - 1/500 \quad (2)$$

при $m_1 \leq 0.5$ м ширина реки может быть 150 – 20 м.

При использовании троса, его разметка производится через 1, 2 или 5 м. Начало разметки совмещают с известной точкой на створе или поперечнике, трос натягивают и глубину измеряют на каждой размеченной точке. Способ применим для несудоходных рек шириной 70 – 100 м. Промеры глубин со льда ведут по предварительно размеченным точкам, их разбивают рулеткой. В намеченных точках бурят отверстия, и с помощью лотлиня или наметки измеряют глубину. Такой способ целесообразно применять при достаточно прочном (0,2 – 0,4 м) ледовом покрове в начале зимы.

На широких судоходных реках плановое положение промерных точек определяют прямой угловой засечкой с концов разбитого на берегу базиса. Базис желательно разбить под прямым углом к створу, тогда для определения расстояния достаточно измерить базис (с точностью 1/1000) и один горизонтальный угол ($m_\beta \leq 3'$). Для контроля и повышения точности определения расстояния разбивают два базиса, длины которых должны быть не менее половины ширины реки.

Наиболее успешно ведут гидрологические исследования таким образом:

- глубины определяют эхолотом;
- для определения планового положения электронные тахеометры.

Скорости течения определяют по гидрометрическим створам, которые часто совпадают с промерными створами. В местах створов желательно, чтобы русло было прямолиней-

ным, без островов и мелей, без притоков и озер, течение – параллельным, пойма – незаросшей, имела минимальную ширину. По гидрометрическим створам разбивают пикетаж, закрепляют створы реперами и вехами.

Для измерения скоростей и направлений течения используется способ поплавков, где применяются поверхностные и глубинные поплавки. *Поверхностные* поплавки представляют собой деревянные или пластиковые кружки, в центре которых закреплены разного цвета флажки или с разными номерами флажки. Поплавковые измерения ведут в безветренную погоду в утренние или вечерние часы. Применяют почти на всех реках достаточной глубины для определения скорости течения и для наблюдений за ледоходом. Измерения скорости воды ведут с некоторого створа (стартового), в момент пуска поплавок включают секундомер и фиксируют прохождение поплавок через другой створ (наблюдательный) (Рис. 9).

Для получения более точных результатов делают 2 – 3 наблюдательных створа. Створы закрепляют кольями и ставят вехи. Расстояние между створами выбирают таким образом, чтобы при самом быстром течении поплавок проходил это расстояние за 30 – 40 сек. С помощью поверхностных поплавков определяется скорость на поверхности водного потока $v = L / t$. При переходе от поверхностной скорости к средней используют коэффициент $k = 0,80 - 0,85$. Фиксацию местоположения поплавок производят с помощью тахеометра прямой угловой засечкой, разбивая через главный створ на берегу базис. Расстояние до поплавок

$$S = h / \operatorname{tg} v \quad (3)$$

где h – превышение горизонта инструмента над рабочим уровнем воды в створе засечки; v – вертикальный угол.

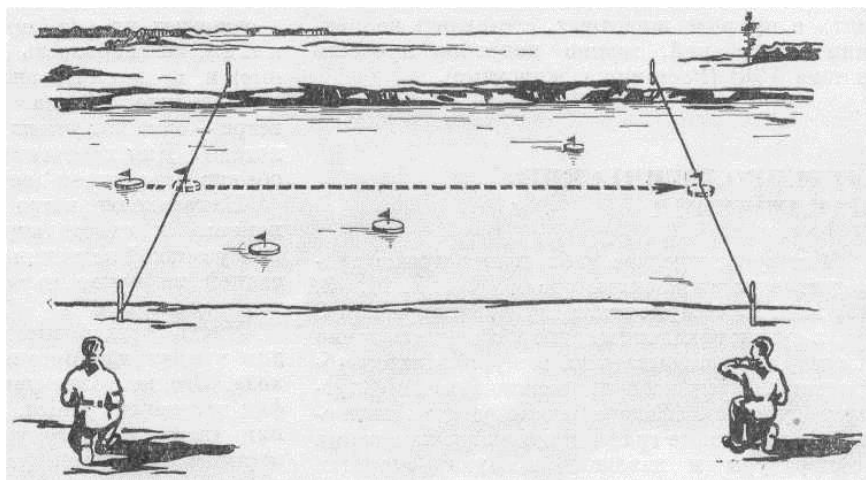


Рис. 9. Измерение скоростей течения

В качестве *глубинных* выступают поплавки-интеграторы, с помощью которых определяется средняя скорость течения воды по вертикали. Устройство состоит из штанги, рейки с делениями и поплавок (Рис. 10). В качестве поплавок используются шарики из воска, дерева или пластмассы диаметром 2 – 4 см, которые на шнуре крепятся внизу штанги. При измерениях поступают следующим образом: штангу с поплавком устанавливают на дно реки; рейку кладут на водную поверхность по направлению течения; при помощи шнура или тросика поплавок отводят от штанги, и он всплывает на поверхность. Всплывая, поплавок проходит слои воды с разными скоростями течения и как бы интегрирует их, получая тем самым среднюю скорость

$$v = L / t \quad (4)$$

где L – отсчет по рейке в месте всплытия поплавок, время засекают секундомером. Применяют на реках с небольшой скоростью течения (менее 0,5 м / с).

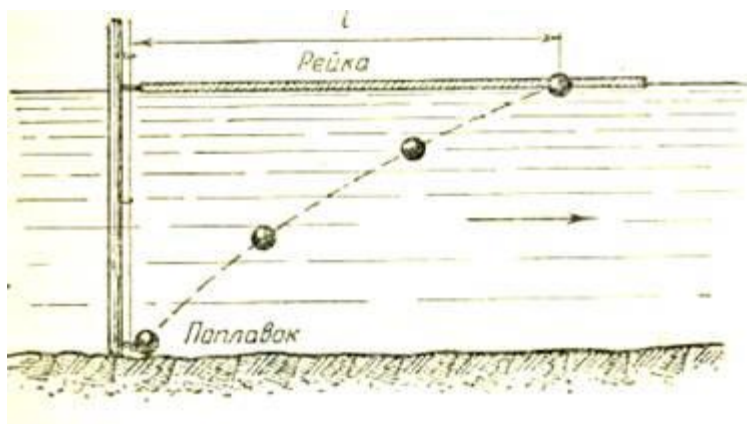


Рис. 10 Измерение скорости течения поплавком-интегратором

Более точное и наиболее распространенное средство для определения скоростей – гидрометрическая вертушка (Рис. 11).

Также для измерения скоростей могут использоваться специальные приборы – батометры-тахиметры, при помощи которых одновременно с измерением скорости берут и пробу воды на мутность, и при экономической целесообразности – аэрометоды. Многократную аэрофотосъемку применяют при изучении динамики ледохода, одновременно определяют отметки уреза воды.

Гидрометрическая вертушка – измеритель скорости течения водного потока. Принцип действия которого основан на наличии связи между скоростью вращения лопастного винта вертушки и скоростью набегающего потока воды.

Виды гидрометрических вертушек:



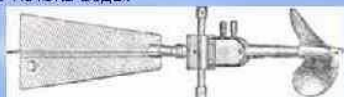
1) ГР-21 м

Состоит из корпуса, ходовой части с контактным механизмом и лопастным винтом, хвостового оперения и сигнального устройства.

При проведении измерений вертушка крепится на гидрометрической штанге.

Диаметр лопастного винта - 120 мм.

Диапазон измерения скорости от 0,05 – 6,00 м/с .



2) ГМЦМ-1 Гидрометрическая микровертушка

Высокоточный портативный переносной измеритель скорости течения воды на малых водотоках.

Диаметр сменных лопастных винтов 15 и 25 мм.

Применяется на каналах, лотках и самотечных трубах.

Диапазон измерения скорости от 0,03 до 3,50 м/с

Преимущества – скорость потока высчитывается автоматически и выводится на табло.

Рис. 11. Виды гидрометрических вертушек

Расходом воды называется объем ее, протекающий через поперечное сечение потока в единицы времени. Для крупных водотоков - рек, каналов, водосбросов гидротехнических сооружений и т.п. – расход выражается в кубических метрах в секунду; расходы малых водотоков – родников, ручьев, лабораторных лотков и пр. – в литрах в секунду.

Существующие методы определения расхода воды можно разделить на две основные группы: непосредственное измерение расхода воды и косвенное измерение расхода воды.

При косвенном определении расходов воды измеряется не сам расход (объем воды), а отдельные элементы потока, а величина расхода получается путем вычислений.

Определение расхода воды *объемным* методом. Объемный метод применяется обычно при расходах воды, не превышающих 5-10 л/с. Этот метод удобен для измерения расходов ключей, родников и т. п. Непосредственное измерение

расходов воды дает высокую точность, что очень важно при малых расходах.

Этим способом расход определяется из отношения объема воды V , накопившейся в мерном сосуде, к числу секунд t , в течение которых он был собран.

Расчетный способ определения расхода воды. Сущность этого способа заключается в том, что площадь живого сечения определяется по имеющемуся поперечному профилю створа, а средняя скорость потока вычисляется по формуле Шези; величина расхода получается умножением площади на среднюю скорость

$$Q = wv \quad (5)$$

где w - площадь живого сечения; v - средняя скорость течения реки, вычисленная по формуле Шези.

Вычисление расхода воды *аналитическим* способом. (метод “скорость-площадь”). В гидрометрии наиболее распространен способ определения расходов воды, основанный на измерении местных скоростей течения гидрометрической вертушкой и площади живого сечения потока, сокращенно называемый способом «скорость-площадь» или «аналитическим способом».

Аналитический способ основан на рассечении модели расхода вертикальными плоскостями, перпендикулярными живому сечению, и определении расхода воды Q как суммы частных расходов между соседними плоскостями, проходящими через скоростные вертикали.

Общий расход воды Q ($\text{м}^3/\text{с}$) равен сумме частичных расходов

$$Q = \sum \Delta Q = k_1 q_1 b_1 + \frac{q_1 + q_2}{2} b_2 + \dots + \frac{q_{n-1} + q_n}{2} b_n + k_2 q_n b_n \quad (6)$$

где q_1, q_2, q_n – элементарные расходы в $\text{м}^2/\text{с}$;

b_1, b_2, b_n – расстояния между вертикалями в м;

k_1, k_2 – коэффициенты, зависящие от характера берега: $k = 0,7$ – для пологого берега; $k = 0,8$ – для обрывистого; $k = 0,9$ – для обрывистого с гладкой стенкой.

В формуле каждое слагаемое представляет собой частичный расход воды: первое слагаемое - частичный расход между берегом и первой скоростной вертикалью, второе слагаемое - частичный расход между первой и второй вертикалями и т.д. Величина каждого частичного расхода вычисляется путем умножения средней скорости на вертикали на соответствующий участок площади живого сечения

Скорость течения измеряют на скоростных вертикалях. Число скоростных вертикалей и точек измерения скорости зависит от состояния водотока, глубины потока и требуемой точности вычисления расхода.

При изучении речных *наносов* измеряют скорости течения в различных точках живого сечения и определяют мутность в этих же точках. Для измерения расходов твердого стока, проходящих через живое сечение реки, определяют наносности. *Наносностью* называется количество взвешенных наносов, проходящих за 1 с через 1 м² живого сечения реки, а мутностью – в единице объема воды (г / м³). Для определения мутности берут пробы батометрами, а затем выделяют из взятой пробы, содержащиеся в ней наносы. Наносы определяют отстаиванием и фильтрованием.

Гидрогеологические изыскания заключаются в изучении воднотехнических свойств грунтов (влажность, влагоемкость, водоотдача, водопроницаемость), а также свойства подземных вод, скорости и направление их течения, определяют типы (верховодка, собственно грунтовая и межпластовая вода) и глубины залегания грунтовых вод. Режим грунтовых вод характеризуется изменениями во времени уровня, температуры, химического и газового состава.

Полевые гидрогеологические работы заключаются в опытных откачках, нагнетаниях, наливах, определении направления и скорости движения грунтовых вод.

К гидрогеологическим работам относят и стационарные наблюдения за режимом грунтовых вод. Одновременно с инженерно-геологической съемкой ведется гидрогеологическая съемка, в ходе ее дают описание поверхностных водоемов и рек; естественных источников – колодцев, шахт, разведочных выработок.

В процессе выполнения съемки бурятся неглубокие (10 – 15 м) скважины, проводят пробные откачки воды. Проведение гидрогеологических изысканий особенно важно для гидротехнических сооружений.

Гидрогеологические карты составляют на основе топографических карт. Для составления карт используют результаты геологической съемки, геофизических и геохимических исследований, результаты изучения образцов горных пород, руд, флоры и фауны, гидрологических и инженерно-геологических наблюдений, опробывания полезных ископаемых, проходки горных выработок и буровых скважин. Привязка обнажений, скважин, шурфов и других выработок производится по имеющимся топографическим картам наиболее крупного масштаба.

Инженерно-метеорологические изыскания производятся для того, чтобы выяснить влияние различных физических явлений и процессов, происходящих в атмосфере, на возведение и эксплуатацию инженерных сооружений, на их прочность и долговечность. Например, для учета динамического действия ветровой нагрузки на высотные сооружения.

Основными характеристиками являются: температура воздуха, атмосферное давление, влажность воздуха, скорость и направление ветра, облачность.

Измерение *температуры* t ($^{\circ}\text{C}$) производится на метеорологических станциях. Кроме температуры воздуха, измеряют температуру почвы, снега и воды. Применяют жидкостные, ртутные полупроводниковые и деформационные термометры.

Атмосферное давление P (Па) измеряют ртутными барометрами, анероидами, термобарометрами, газовыми и дифференциальными барометрами (Рис. 12). При выполнении геодезических измерений для учета влияния внешних условий используют барометры-анероиды. Для определения разности высот центров фотографирования при аэрофотосъемке применяется дифференциальный барометр-статоскоп. Для барометрического нивелирования применяют чашечные и сифонные ртутные барометры различной конструкции, барометры-анероиды, баронивелиры и др.

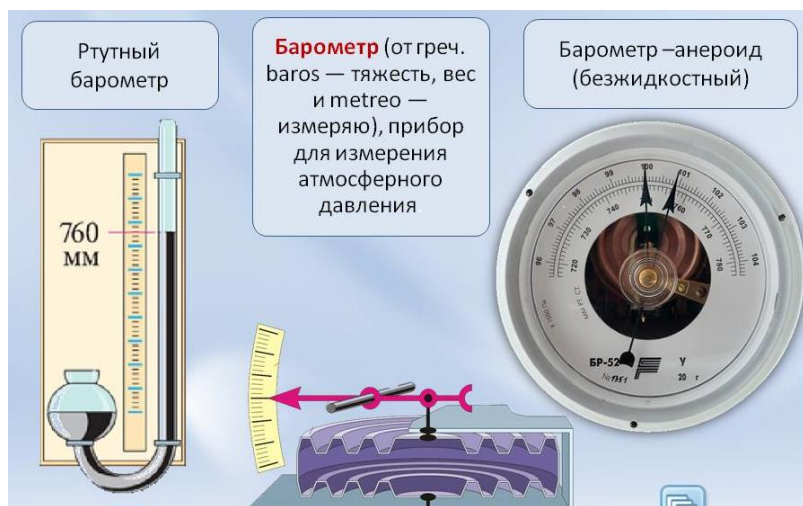


Рис. 12 Барометры

Влажность воздуха характеризуют такие показатели, как упругость водяного пара, абсолютная влажность, относительная влажность. Влажность измеряют психрометрическим

методом и гигрометрами. При психрометрическом методе пользуются двумя термометрами – смоченным и сухим. У смоченного термометра поверхность его резервуара постоянно увлажняется, и с нее испаряется вода.



Рис. 13 Приборы для измерения влажности

На метеорологических станциях используют стационарный психрометр, в котором имеются два термометра с резервуарами одинаковой формы и размеров. В полевых условиях используется портативный психрометр конструкции Ассмана.

Гигрометры бывают нескольких типов: волосной и пленочный. Волосной гигрометр основан на гигроскопических свойствах обезжиренного человеческого волоса (при изменении влажности окружающего воздуха волос изменяет свою длину). У пленочного гигрометра чувствительным элементом является органическая пленка. Гигрометры являются основными приборами в зимнее время при температуре ниже -10°C . Существуют приборы с непрерывной регистрацией, с суточным и недельным заводом.

Ветер характеризуется скоростью и направлением. *Направление* определяется точкой горизонта, откуда он дует. При этом указывают географический азимут или румб направления на розе ветров. Единицы измерения скорости ветра – м/с, км/ч. Кроме того, ее характеризуют в условных единицах – баллах, взятых по шкале Бофорта.

Направление ветра можно определить с помощью флюгарки (флюгер Вильда) – системы из пластины и противовеса, вращающейся вокруг вертикальной оси. Также используется матерчатый усеченный конус, натянутый на металлический круг, сцепленный с металлической трубкой, вращающейся вокруг вертикальной оси.

Скорость ветра измеряется анемометрами, а скорость и направление – анеморумбометрами. Для регистрации скорости применяются анемографы, а скорости и направление – анеморумбографы, или самописцы ветра.



Рис. 14. Приборы для определения направления и скорости ветра

Совокупность облаков называется *облачность* небесного свода, она характеризуется количеством облаков, их формой, высотой, направлением и скоростью движения. Облачность оценивается по 10-балльной системе: чистое небо – 0 баллов, сплошная облачность – 10 баллов.

Экономические изыскания выполняют с целью получить характеристику хозяйственно-экономического состояния района будущего строительства, экономическое обоснование проекта и составить проект хозяйственного преобразования территории в связи с возведением проектируемого сооружения. Эти изыскания проводят на основании материалов перспективного планирования центральных и местных органов, также используются материалы ведомственного планирования. Экономические изыскания играют решающую роль при выборе площадки под строительство. При этом исследуются вопросы близости площадки к источникам сырья, наличие существующих транспортных и подземных сетей, местных строительных материалов, материально-технической базы, энергии, воды и т. п.

Экономические изыскания делят на комплексные, проблемные, титульные, внутриобъектные.

Комплексные экономические изыскания выполняют при решении комплекса вопросов, связанных с будущим сооружением. *Проблемные* экономические изыскания рассматривают несколько вариантов решения одной и той же хозяйственной задачи и выбор оптимального в экономическом отношении варианта. Комплексные и проблемные изыскания выполняют на стадии технико-экономического обоснования. *Титульные (объектные)* экономические изыскания проводятся для определенного объекта с учетом конкретного размещения на местности, их выполняют на стадии технического проекта. В процессе предварительных технических изысканий возникает несколько вариантов, а окончательное решение принимается на основе сравнения экономических показателей по каждому варианту. Такое сравнение называют *внутриобъектными* изысканиями.

Для строительства линейных сооружений возникает необходимость в экономическом трассировании, т. е. в выборе

трассы на основании сравнения стоимостных показателей нескольких вариантов.

Большое значение имеют экономические изыскания при проектировании городов и рабочих поселков. Наиболее значительны они на стадии разработки генерального проекта планировки.

К экономическим изысканиям относятся расчеты, связанные с определением наиболее выгодного расположения сооружения на местности. Для этого вычисляют *прямые затраты*, которые складываются из стоимости рабочей силы, стройматериалов, транспорта, электроэнергии и других расходов, а также дополнительные, которые в отдельных случаях могут достигать 50 % прямых затрат. *Дополнительные затраты* для каждого возводимого сооружения идут на покрытие ущерба, связанного с отчуждением территории при изъятии ее под строительство из того фонда, где она ранее находилась. Самые большие дополнительные затраты возникают при создании водохранилищ.

В экономических изысканиях существенное место отводится *оценке экономической эффективности капитальных вложений*, для этого сравнивают два варианта будущего сооружения, определяя капитальные и эксплуатационные затраты. Затем подсчитывают экономическую эффективность, она определяется расчетным сроком, в течение которого дополнительные вложения окупаются сбережениями на себестоимости продукции. Наиболее эффективными считают те варианты затрат, срок окупаемости которых не превышает заданный нормативный срок. Сопоставлением расчетного срока окупаемости с нормативным оценивается экономичность вариантов и принимается решение о выборе одного из них. При проведении изысканий во всех случаях стараются обеспечить минимум затрат.

ЛЕКЦИЯ № 3. ПЛАНОВЫЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ

Плановые инженерно-геодезические сети служат основой:

- для производства топографических съемок при изысканиях;
- для выполнения различных работ на территории городов;
- при составлении исполнительной документации;
- для выполнения разбивочных работ при строительстве зданий и сооружений;
- для наблюдений за деформациями оснований сооружений и самих сооружений.

Инженерно-геодезические плановые и высотные опорные сети представляют собой систему геометрических фигур, вершины которых закреплены на местности специальными знаками. Плановые и высотные опорные сети создают в соответствии с заранее разработанным проектом производства геодезических работ (ППГР).

При составлении ППГР собирают сведения, относящиеся к опорным геодезическим сетям во всех организациях, производящих работы на территории предстоящего строительства; в отделах по делам строительства и архитектуры; в изыскательских, проектно-изыскательских, а также специальных геодезических организациях. По собранным материалам составляют схему расположения пунктов ранее выполненных опорных сетей всех классов и разрядов в пределах территории предстоящих работ.

В геодезической практике достаточно часто сеть создают заново, даже при наличии близкорасположенных пунктов ранее созданных сетей. Поступают так с целью обеспечения повышенной точности определения взаимного положения пунктов.

Инженерно-геодезические опорные сети обладают рядом характерных особенностей:

- а) сети часто создаются в условной системе координат;
- б) форма сети определяется обслуживаемой территорией или формой объектов;
- в) сети имеют ограниченные размеры, часто с незначительным числом фигур или полигонов;
- г) короткие длины сторон;
- д) к пунктам сети предъявляются повышенные требования по стабильности их положения;
- е) неблагоприятные условия наблюдений.

Также имеются особенности, связанные с целевым назначением сети (сети для гидротехнического строительства, для строительства мостов и тоннелей различного назначения, прецизионных сооружений). Например, при строительстве плотины ГЭС возникает необходимость в создании многоярусной сети для выполнения поярусных разбивок строящегося объекта. При создании сети для строительства моста необходимо помнить, что затруднительно производить измерения вдоль берегов. При строительстве тоннелей и некоторых видов прецизионных сооружений предъявляются высокие требования к точности лишь по одному определенному направлению.

Выбор вида построения и его конфигурация зависит от следующих причин:

- типа объекта, его формы и занимаемой площади;
- назначения сети;
- физико-географических условий;
- требуемой точности;
- наличия измерительных средств у исполнителя.

Так, триангуляцию применяют на объектах, значительных по площади и протяженности, проектируемых в открытой пересеченной местности. Полигонометрию используют на закрытой местности или застроенной территории; линейно-

угловые сети – при необходимости создания сетей повышенной точности; трилатерацию – на небольших объектах, где требуется высокая точность и строительные сетки – на промышленных площадках.

В зависимости от площади проектируемого объекта и технологии строительного производства опорные сети создаются в несколько последовательных стадий (ступеней). Высотные опорные сети, в основном, создают методом геометрического нивелирования в виде одиночных ходов или полигонов, проложенных между исходными реперами. В отдельных случаях, при наличии электронных тахеометров, может применяться способ тригонометрического нивелирования.

При проектировании инженерно-геодезических сетей необходимо решить следующие задачи:

- выяснить исходные требования к точности построения сети;
- определить количество ступеней развития сети;
- выбрать для каждой ступени вид построения сети;
- назначить общие требования к точности построения сети на каждой ступени;
- найти требуемую точность отдельных видов измерений (угловых, линейных, превышений) на каждой ступени построения сети.

Эти задачи можно решить двумя путями.

Первый путь. Исходя из условий проектирования, определяют конкретный вид сети и класс ее построения. Затем, по известным из нормативных документов геометрическим и точностным параметрам, разрабатывают проект сети и выполняют его оценку. Результаты оценки (с.к.о. измерений, относительные ошибки) сравнивают с заданными или нормативными значениями и делаются соответствующие выводы. Далее выбираются рекомендованные инструкциями методы и средства измерений. Такой принцип решения применяется

при проектировании сетей, служащих основой для выполнения крупномасштабных топографических съемок и выноса в натуру основных (габаритных) осей зданий и сооружений при строительстве населенных пунктов.

Второй путь. Для опорных сетей специального назначения проектирование и расчет точности ведутся, руководствуясь назначением сети; исходные точностные требования могут задаваться или рассчитываться. Схема построения сети проектируется, исходя из необходимой плотности и возможных мест расположения пунктов; при этом можно придерживаться геометрических параметров, соответствующих определенному классу выбранного вида построения. Далее на основе расчетов определяется действительный класс построения, а также определяется методика и выбираются средства измерений для каждой ступени развития сети. Основу расчетов для обоих случаев проектирования составляет решение точностного уравнения вида

$$m_F = \mu \sqrt{\frac{1}{P_F}} \quad (7)$$

Где m_F – погрешность функции наиболее слабо определяемого или требуемого элемента в уравненной сети; μ – погрешность единицы веса измерений; $\frac{1}{P_F} = Q_F$ – обратный вес оцениваемого элемента.

В первом случае, найдя обратный вес и задавая погрешность единицы веса, соответствующую какому-либо нормативному классу, определяют погрешность m_F функции оцениваемого элемента сети и сравнивают ее с нормативной.

Во втором – по вычисленной величине обратного веса и заданной погрешности функции оцениваемого элемента находят погрешность единицы веса μ . На основе полученной величины μ и выбирают методику измерений. При строгом решении обратный вес функции оцениваемого элемента обычно находят из уравнивания. Хотя измерения еще не про-изводились, можно использовать принципы и приемы уравни-

вания. Поскольку оценивается обратный вес функции уравненных элементов, то для его вычисления свободные члены соответствующих уравнений принимают равными нулю.

Основу любого геодезического проектирования составляют требования к точности выполнения работ. Применительно к построению опорных сетей задача состоит в назначении или расчете ошибки функции того или иного элемента сети. Поскольку опорные сети могут развиваться в несколько этапов, то существуют понятия исходной и поэтапной точности.

Под исходной точностью понимают точность определения положения пункта плановой основы, съёмочной точки, отметки, осадок реперов и т. п.. Поэтапная точность является функцией от исходной, ее долей, приходящейся на каждый этап построения. Исходная точность может быть задана в техническом задании, в нормативных документах или получена расчетным путем. Например, при расчете точности планового обоснования для съёмочных работ в качестве исходной принимают среднюю квадратическую погрешность планового положения съёмочной точки. Рассчитывают ее по формуле

$$m_{исх} = 0,2мм \cdot M \quad (8)$$

где M – знаменатель масштаба съёмки.

Рассмотрим наиболее распространенный путь для определения поэтапной точности. Пусть опорная сеть проектируется в n ступеней. Общая (исходная) погрешность будет складываться из суммарных случайных стей m_1^2, m_2^2, m_n^2 построения для каждой ступени. Если погрешности слабо зависимы, можно записать

$$m_{исх}^2 = m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2 \quad (9)$$

Исходя из практической необходимости, для решения уравнения (9) ставится условие, чтобы на каждой последующей ступени построения сети погрешности предыдущей сту-

пени можно было считать пренебрегаемо малыми. Это возможно, если погрешности каждой предыдущей ступени будут в K раз меньше погрешности последующей, т. е.

$$m_1 = \frac{m_2}{K}; m_2 = \frac{m_3}{K} \text{ и т. д.} \quad (10)$$

Коэффициент K называют коэффициентом обеспечения точности, показывающим во сколько раз погрешность исходных данных должна быть меньше погрешности измерений, чтобы первой можно было бы пренебречь. Для массовых геодезических работ принимают $K = 2$ и считают его одинаковым для всех ступеней построения обоснования.

Государственные геодезические сети до их уравнивания должны быть отнесены на какую-то поверхность относимости (референц-эллипсоид Красовского), для этого в сетях 1 и 2 класса в измеряемые элементы вводятся редуccionные поправки. Проектирование всех последующих сетей сгущения осуществляется на единой поверхности относимости.

Редуccionные поправки вводят при выполнении геодезических измерений для того, чтобы получить результаты без искажений. Существуют две поправки: поправка за отнесение базисной стороны на поверхность относимости и поправка в длину линии при переходе на плоскость.

В качестве поверхности относимости принимают средний уровень строительной площадки (в гражданских зданиях – это уровень первого этажа), на трассах метрополитена – уровень оси тоннеля или головок рельсового пути и др.

В целях картографирования геодезические сети проецируются на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера (на территории стран СНГ). В инженерно-геодезических работах применяют государственные системы координат (СК – 42, СК – 63, СК – 95) и местные системы координат.

Для современных промышленных комплексов применяется частная (условная) система координат, начало координат которой не совпадает с началом государственной системы координат, а ее оси развернуты относительно осей государственной системы координат.

Высотные сети (государственные и инженерно-геодезические) проектируют и создают в единой системе высот. За начало высот принят средний уровень Балтийского моря. Этот уровень отмечен горизонтальной чертой на медной металлической пластине, укрепленной в устье моста через обводной канал в Кронштадте.

Основным методом создания высотных сетей является геометрическое нивелирование. При определении разности высот поверхности земли методом геометрического нивелирования возникает некоторая неопределенность в значении превышений вследствие того, что уровенные поверхности различных точек Земли не параллельны между собой. Это обусловлено неравномерностью распределения масс земной коры и суточным вращением Земли.

В зависимости от принципа учета непараллельности-уровенных поверхностей различают нормальные, динамические и ортометрические высоты.

По предложению М.С. Молоденского, принята система нормальных высот. Нормальные высоты точек отсчитываются по направлениям отвесных линий от поверхности квазигеоида, которая близка к поверхности геоида. Измеренные превышения между пунктами нивелирования I и II, а также нивелирования III класса в горных районах исправляют поправками за переход к системе нормальных высот, которые вычисляются на основании гравиметрических измерений.

При выполнении инженерно-геодезических работ эта поправка, как правило, не вводится из-за достаточно невысокой точности и малой протяженности ходов. Однако, при производстве ряда инженерных работ введение поправок в изме-

ренные превышения бывает необходимо, например, при строительстве тоннелей, плотин в горных районах, строительстве испытательных линий большой линейной протяженности. При строительстве крупных гидротехнических сооружений на реках меридионального направления следует учитывать, что контур водохранилища или озера будет иметь различные нормальные высоты, разности которых могут достигать существенных размеров.

Динамическую систему высот целесообразно применять для инженерно-технических расчетов, связанных с учетом работы, совершаемой в гравитационном поле Земли, в метеорологии. Для вычисления результатов нивелирования при создании государственных геодезических сетей динамические высоты не применяются.

При использовании спутниковых геодезических систем для определения координат и высот пунктов опорных геодезических сетей должны соблюдаться следующие условия:

- удаленность пунктов от высоковольтных линий электропередач не менее 100 м;
- угол между горизонтом и препятствием должен быть не более 15° . При этом отпадает необходимость видимости между смежными пунктами.

Обработка результатов полевых измерений опорных геодезических сетей должна выполняться независимо двумя разными исполнителями (в "две руки") с применением современных средств вычислительной техники. Уравнивание должно производиться методами, обеспечивающими контроль и исключаяющими случайные просчеты.

Программы для ЭВМ должны предусматривать печать:

- исходной информации;
- результатов счета;
- оценки точности измерений.

Уравнивание опорной геодезической плановой и высотной сетей производится по методу наименьших квадратов.

Геодезические сети 1 и 2 разряда допускается уравнивать упрощенными способами.

Плотность пунктов опорных геодезических сетей для производства инженерно-геодезических изысканий устанавливается в программе работ и должна составлять на территориях городов, поселков городского типа и промышленных площадок не менее четырех пунктов триангуляции и полигонометрии на 1 км² в застроенной части и одного пункта на 1 км² на незастроенных территориях.

Для обеспечения инженерных изысканий и строительства в городах и на промышленных объектах плотность опорных сетей может быть доведена до восьми пунктов на 1 км².

Плотность опорных геодезических сетей для съемок в масштабе 1:5000 территорий вне населенных пунктов должна быть доведена не менее, чем до одного пункта на 7-10 км², а для съемок в масштабе 1:2000 - до одного пункта на 2 км².

При инженерно-геодезических изысканиях на площадках опорные геодезические сети следует строить в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1

Площадь участка изысканий, км ²	Опорная геодезическая сеть		
	триангуляция, трилатерация и полигонометрия		класс нивелирования
	класс	разряд	
До 1	-	-	-
Св. 1 до 10	-	1;2	IV
10 - 25	4	1;2	IV
25 - 50	4	1;2	III; IV
50 - 200	3;4	1;2	II; IV
200	2;3;4	1;2	I-IV

Примечания

1. На участках площадью до 1 км^2 допускается создание опорной геодезической сети 2 разряда и нивелирования IV класса. Необходимость создания этих сетей должна быть обоснована в программе работ.
2. На территориях действующих и реконструируемых промышленных предприятий допускается повышение класса (разряда) опорных геодезических сетей.
3. Допускается создание геодезических сетей специального назначения. Необходимость создания таких сетей должна быть обоснована в программе работ.

Триангуляционные сети в инженерно-геодезических работах используются в качестве основы для топографических съемок и разбивочных работ, а также для наблюдений за деформациями сооружений. Для съемочных работ триангуляционная сеть позволяет сократить длины развиваемых на ее основе сетей сгущения и способствует уменьшению погрешностей в сетях низших разрядов и съемочных сетях.

При построении триангуляционных сетей 4 класса, 1 и 2 разряда должны соблюдаться [требования](#), приведенные в таблице 2.

Особенностью опорных сетей, созданных в виде специальных триангуляционных построений на территории городов и промышленных площадок, является уменьшение длин сторон в 1,5 – 2 раза, а плотность пунктов составляет 1 пункт на $15 - 5 \text{ км}^2$. Уменьшение длин сторон приводит к повышению требований к отдельным измерительным операциям, таким как центрирование теодолита и визирных целей при угловых измерениях.

Для разбивочных работ триангуляция может служить непосредственной основой, с пунктов которой производится разбивка сооружений, или опорой для развития сетей низших классов, также используемых для разбивки. Такими примера-

ми служат гидротехническая, тоннельная и мостовая триангуляция.

Таблица 2

Показатели	Триангуляция		
	4 класса	1 раз- ряда	2 раз- ряда
Длина стороны треугольника, км	2-5	0,5-5	0,25-3
Относительная средняя квадратическая погрешность: базисной (выходной) стороны, не более	1/200000	1/50000	1/20000
определяемой стороны сети в наиболее слабом месте, не более	1/70000	1/20000	1/10000
Наименьшее значение угла тре- угольника между направлениями данного класса (разряда), град:			
в сплошной сети	20	20	20
в связующей цепочке			
треугольников	30	30	30
во вставке	30	30	30
Предельная невязка в треуголь- нике, сек	8	20	40
Средняя квадратическая погреш- ность измеренного угла (вычис- ленная по невязкам треугольни- ков), сек, не более	2	5	10
Длина базисной (выходной) сто- роны, км, не менее	2	1	1
Число треугольников между ис- ходными (базисными) сторонами или между исходным пунктом и исходной стороной, не более	20	10	10

Особенностью разбивочной триангуляции является необходимость соблюдения точностных требований во взаимном положении смежных пунктов или пунктов, разделенных двумя-тремя сторонами. Это требование обусловлено необходимостью выноса в натуру системы точек, принадлежащих к единому сооружению, т. е. связанных конструктивно и технологически.

Триангуляционные сети, предназначенные для наблюдений за плановыми смещениями сооружений, применяются на крупных гидротехнических объектах и используются для измерения смещений недоступных точек и контроля устойчивости исходных пунктов других построений. Для сетей такого вида характерны высокие требования к точности определения координат (2 – 5 мм) при небольших длинах сторон.

При развитии опорных сетей методом триангуляции наиболее типичными построениями являются: одиночные и сдвоенные цепочки треугольников (для линейно протяженных объектов), центральные системы, геодезические четырехугольники (для мостовых и гидротехнических сооружений), вставки пунктов в треугольники и небольшие сети из этих фигур. Треугольники стремятся проектировать близкими к равносторонним, в отдельных случаях острые углы допускают до 20^0 , а тупые – до 140^0 . В свободных сетях, для контроля масштаба сети, необходимо иметь не менее двух непосредственно измеренных базисных сторон.

Уравнивание результатов измерений выполняют строгими способами. Среднюю квадратическую погрешность функции m_F уравненных элементов сети вычисляют по формуле (11), а с учетом погрешностей исходных данных суммарная погрешность будет равна

$$m_F = \sqrt{m_F^2 + m_{исх}^2} \quad (11)$$

При разработке проектов триангуляционных сетей расчет ожидаемой точности (оценку проекта) производят, как правило, на ЭВМ, используя различные программные комплексы.

Высотная привязка центров триангуляции 3 и 4 класса, 1 и 2 разряда производится геометрическим нивелированием IV класса или техническим нивелированием.

Определение отметок центров пунктов триангуляции, установленных на зданиях, производится методом тригонометрического нивелирования.

Измерение вертикальных углов теодолитами Т2 и ему равноточными следует производить тремя полными приемами по средней нити в прямом и обратном направлениях. При этом колебания значений вертикальных углов и "места нуля", вычисленные из отдельных приемов, не должны превышать 15".

Расхождения между прямым и обратным превышениями не должны превышать 10 см на каждый километр длины стороны.

Метод **трилатерации** применяют для построения инженерно-геодезических сетей 3 и 4 класса, а также сетей сгущения 1 и 2 разрядов различного назначения. При построении трилатерации должны соблюдаться требования нормативных документов на указанный вид работ.

Измерение длин сторон трилатерации должно производиться в соответствии с таблицей 3.

Сети трилатерации для решения инженерно-геодезических задач строят в виде свободных сетей, состоящих из отдельных фигур: геодезических четырехугольников, центральных систем или их комбинаций с треугольниками.

Таблица 3

Показатели	Трилатерация		
	4 класса	1 раз- ряда	2 раз- ряда
Длина стороны треугольника, км	1-5	0,5-5	0,25-3
Относительная средняя квадратическая погрешность измерения сторон (по внутренней сходимости), не более:	1/100000	1/50000	1/20000
Наименьшее значение угла треугольника, град:	20	20	20
Число сторон между исходными сторонами или между исходным пунктом и исходной стороной не более	10	10	10

Примечания

1. При меньших значениях углов треугольников применяется линейно-угловая сеть, обоснованная в программе работ.
2. При примыкании сети трилатерации к ранее созданным сетям должны быть повторно измерены все смежные стороны.

Для линейно протяженных объектов сеть трилатерации создают из цепочки треугольников.

Недостатки такого построения состоят в следующем:

1) поперечный сдвиг ряда существенно превышает продольный;

2) отсутствие полевого контроля качества измерений для каждой фигуры (при любых погрешностях измерений длин сторон сумма вычисленных углов всегда равна 180°).

При оценке ожидаемой точности ряда равносторонних треугольников трилатерации используют формулы:

а) для продольного сдвига

$$m_t = m_s \sqrt{\frac{N}{2}} (\text{при четном } N); \quad (12)$$

$$m_t = m_s \sqrt{\frac{N-1}{2}} (\text{при нечетном } N); \quad (13)$$

где m_s – средняя квадратическая погрешность измерения сторон; N – число фигур ряда;
б) для поперечного сдвига

$$m_U = m_s \sqrt{0,111k^3 + 0,25k^2 + 1,3k} \quad (14)$$

где k – порядковый номер связующей стороны;
в) для дирекционного угла связующей стороны

$$m_{\alpha K} = \frac{m_s \cdot \rho}{S} \sqrt{1,33k + 0,67} \quad (15)$$

где S – длина сторон треугольников.

Чтобы исключить второй недостаток, сети трилатерации на практике развивают в виде геодезических четырехугольников. В каждом геодезическом четырехугольнике измеряется шесть сторон, причем одна из них (любая) является избыточной и может быть вычислена, используя результаты измерений других сторон. Это может служить полевым контролем качества измерений длин линий. Кроме того, геодезический четырехугольник является более жесткой фигурой, чем ряд, составленный из таких фигур, и обладает более высокой точностью.

Широкое распространение в практике инженерно-геодезических работ сети трилатерации получили при строительстве высокоэтажных зданий, дымовых труб, градирен, атомных электростанций, а также при монтаже сложного технологического оборудования. В таких сетях с высокой точностью (до десятых долей миллиметра) измеряют длины сторон.

Сети трилатерации с короткими сторонами принято называть сетями микротрилатерации. Отметим ряд достоинств микротрилатерационных построений:

- 1) при измерениях небольших расстояний значительно ослабляется влияние ошибок за центрировку и редукцию;
- 2) пропадает необходимость обеспечивать видимость сразу между несколькими пунктами;
- 3) не требуется видимости между конечными пунктами сети.

Иногда сети микротрилатерации являются единственно возможным методом создания геодезического обоснования для производства разбивочных работ.

Полигонометрия является самым распространенным видом инженерно–геодезических сетей. Полигонометрические сети могут выступать в качестве геодезического обоснования при изысканиях и строительстве, съемочного обоснования, а также могут являться основой для наблюдений за плановыми смещениями сооружений.

Проектируют полигонометрию в виде одиночных ходов, опирающихся на исходные пункты высшего класса (разряда), систем ходов с узловыми точками или систем замкнутых полигонов.

На территории городов и промышленных площадок чаще всего проектируют хода полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов. При этом полигонометрия 4 класса существенно отличается от той же полигонометрии, создаваемой для построения государственной геодезической сети, допустимыми длинами ходов.

В порядке исключения в ходах полигонометрии 1 разряда длиной до 1 км и в ходах полигонометрии 2 разряда длиной до 0,5 км допускается абсолютная линейная невязка 10 см.

Визирный луч при измерении направлений должен проходить не ближе 0,5 м от поверхности земли и местных предметов.

Отдельный ход полигонометрии должен опираться на два исходных пункта и два твердых дирекционных угла. Проложение висячих ходов полигонометрии не допускается. В исключительных случаях разрешается:

- проложение хода полигонометрии 1 и 2 разряда, опирающегося на два исходных пункта без угловой привязки на одном из них, при этом для контроля угловых измерений должны использоваться дирекционные углы на ориентирные пункты государственной геодезической сети или дирекционные углы примыкающих сторон, полученные из астрономических или гиротеодолитных измерений с погрешностью не более 15";

- проложение замкнутого хода полигонометрии 1, 2 разряда, опирающегося на один исходный пункт, при условии передачи или измерения с точек хода двух дирекционных углов с погрешностью не более 15" на две смежные стороны по возможности в слабом месте (середине хода);

- координатная привязка к пунктам геодезической сети, при этом для контроля угловых измерений в целях обнаружения грубых погрешностей измерений должны использоваться дирекционные углы на ориентирные пункты или азимуты, полученные из астрономических или гиротеодолитных измерений.

Расхождения между значениями измеренного и исходного угла на приемочном пункте не должны превышать в полигонометрии: 4 класса - 6", 1 разряда - 10", 2 разряда - 20".

Если расхождения будут более указанного допуска, то определяется третье исходное направление, по которому следует произвести соответствующий контроль.

Направления на стенные знаки в полигонометрии 4 класса следует измерять тремя круговыми приемами по окон-

чании наблюдений на пункты полигонометрического хода, а в полигонометрии 1 и 2 разряда по программе измерения основных углов. Измерение расстояний от временных точек до стенных знаков, во всех разрядах полигонометрии, следует выполнять со средней квадратической погрешностью не более 2 мм.

Угловые и линейные измерения следует производить одновременно. При этом полевая обработка материалов измерений и контрольные вычисления должны производиться исполнителем.

При построении соблюдают допуски, приведенные в таблице 4.

Таблица 4.

Показатели	Трилатерация		
	4 класса	1 разряда	2 разряда
Предельные длины отдельных полигонометрических ходов при измерении линий светодальномерами и электронными тахеометрами в зависимости от числа сторон "n" в ходе, км	8 -- n=30 10 -- n=20 12 -- n=15 15 -- n=10	10 -- n=50 12 -- n=40 15 -- n=25 20 -- n=15	6 -- n=30 8 -- n=20 10 -- n=10 12 -- n= 8
Предельная длина хода при измерении линий другими методами, км	15	5	3
Предельные длины ходов: - между исходной и узловой точкой - между узловыми точками	2/3 длины отдельного хода, определенных в зависимости от числа сторон "n". 1/2 длины отдельного хода, определенных в зависимости от числа сторон "n". При уменьшении хода на 2/3 и 1/2 Соответственно		

Показатели	4 класса	1 разряда	2 разряда
Длины сторон хода, км наименьшая/ наибольшая	0,25/2,0*	0,12/0,80*	0,08/0,35*
Относительная погрешность хода, не более	1: 25000	1: 10000	1: 5000
Угловая невязка хода или полигона, угловые секунды, не более, где n' - число углов в ходе	5vn'	10vn'	20vn'
Средняя квадратическая погрешность измерения угла (по невязкам в хо- дах), угловые секунды, не бо- лее	2	5	10
Средняя квадратическая погрешность ; измерения длины сторо- ны	до 500м±2см 500 - 1000м ± 3см свыше 1000 м - 1:40000	до 1000м±3см свыше1000м ± 3см - 1:30000	до 1000м±5см свыше1000м ± 3см- 1:20000

* При измерении линий светодальномерами и электронными тахеометрами предельные длины сторон не устанавливаются, однако следует избегать перехода от наименьших сторон хода к предельным.

При проектировании полигонометрии стремятся не допускать близкого расположения пунктов, принадлежащих разным ходам, так как в этом случае погрешность их взаимного положения может значительно превосходить погрешности соединяющего их хода, что затруднит их использование в качестве исходных данных для сетей более низкого класса точности. Лишь при построении городской полигонометрии воз-

можно параллельное прокладывание ходов одного класса или разряда на расстоянии 2,5 км друг от друга для 4 класса и 1,5 км для 1 разряда.

Оценка проектов полигонометрических сетей заключается в определении ожидаемых погрешностей координат узловых пунктов, относительных погрешностей ходов и сравнении их с допустимыми значениями. Она выполняется строгими и приближенными способами.

При проектировании одиночных полигонометрических ходов с примерно одинаковыми сторонами, опирающихся на два исходных пункта и исходные дирекционные углы, необходимо определить погрешность в положении пункта и погрешность дирекционного угла в середине хода после его уравнивания

$$M_c = \frac{1}{2} M \quad (16)$$

где M - средняя квадратическая погрешность в положении конечного пункта хода.

Приближенную оценку одиночных ходов можно выполнить по упрощенным формулам Конусова. Ожидаемую среднюю квадратическую погрешность в положении конечного пункта вытянутого хода и хода произвольной формы вычисляют по формулам

$$M^2 = m_S^2 \times n + \frac{m_B^2}{\rho^2} \times L^2 \times \frac{n+3}{12} \quad (17)$$

$$M^2 = m_S^2 \times n + \frac{m_B^2}{\rho^2} \times [D_{0.i}^2] \quad (18)$$

где $D_{0.i}$ - расстояние от каждой вершины хода до его центра тяжести, L - длина замыкающей.

Расчет ожидаемых погрешностей проектируемых ходов произвольной формы также можно выполнить по формуле для вытянутого хода. В этом случае получается несколько преувеличенное значение M , что создает некоторый запас точности по отношению к реальной.

Если геодезическое обоснование проектируется в виде системы полигонометрических ходов, то для приближенной оценки с успехом может быть применен способ узлов (последовательных приближений).

Строгая оценка проектов сетей полигонометрии выполняется на ЭВМ по специальным программным комплексам.

При выполнении угловых измерений в инженерной полигонометрии необходимо руководствоваться требованиями инструкции по полигонометрии соответствующего класса или разряда. Все факторы, влияющие на точность угловых измерений в триангуляции, в полной мере можно отнести и к полигонометрии.

Для повышения точности и исключения грубых ошибок длину неприступной линии рекомендуется определять из двух треугольников.

Если по линии AB нет видимости и невозможно определить углы на точках A и B , то измеряют длины стороны, α и β , а длину неприступной линии вычисляют по теореме косинусов

$$d = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \beta} \quad (19)$$

Наиболее благоприятным считается вариант, когда $\alpha = \beta$ и угол β близок к 180° .

Теодолитным ходом называют полигонометрический ход, в котором углы между сторонами измеряют теодолитом, а стороны - землемерными лентами, рулетками или оптиче-

скими дальномерами равной им точности. Различают разомкнутый, замкнутый и висячий (как исключение в сложной ситуации) теодолитные ходы.

Проект планового или съемочного обоснования составляют на топографических картах и планах более мелкого масштаба или же на глазомерно составленном чертеже местности. Теодолитные ходы прокладывают с учетом их дальнейшего использования не только для производства съемки местности, но и для выполнения разбивочных работ в промышленном и сельском строительстве, переноса проектов землеустройства и др.

В проекте предусматривают привязку теодолитных ходов к исходным пунктам геодезической сети, показывают направление ходов, намечают узловые точки.

Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 предусматривает проложение теодолитных ходов с допустимыми относительными невязками 1/3000—1/1000.

Длины сторон теодолитного хода должны быть не менее 20 и 40 м (соответственно для застроенных и незастроенных территорий) и не более 350 м, допустимая длина теодолитного хода между исходными пунктами зависит как от масштаба топографической съемки и принятой относительной невязки хода, так и от топографических условий местности.

$$\delta S_v = -2D \times \sin \frac{v^2}{2} \quad (20)$$

Кроме поправки за наклон, при измерении расстояний мерными приборами вводится поправка за компарирование (если она превышает 2 мм)

$$\delta S_K = l - l_H \quad (21)$$

где l - длина рабочей ленты при температуре $t^{\circ}\text{C}$ в момент измерения; l_H - длина нормальной ленты.

В результате уравнивания теодолитных ходов (отдельно уравнивают углы, затем приращения координат) получают координаты точек теодолитного хода.

Строительная сетка создается в основном на промышленных площадках и служит основой для разбивочных работ, монтажа технологического оборудования и производства исполнительных съемок.

Характерной особенностью строительной сетки как инженерно-геодезической сети является расположение пунктов, образующих сетку квадратов или реже прямоугольников, стороны которых параллельны осям проектируемых сооружений или осям расположения технологического оборудования. Таким образом, строительная сетка представляет собой закрепленную на местности систему прямоугольных координат, облегчающую привязку осей сооружений и производство разбивочных работ.

Строительная сетка предназначена для:

- выноса в натуру основных осей сооружения и производства разбивочных работ;
- служит основой для производства исполнительных съемок, производимых во время строительства и после его завершения;
- пункты строительной сетки являются и высотной основой строительной площадки.

В отличие от других видов опорных сетей точную конфигурацию и расположение пунктов строительной сетки проектируют заранее. Проектирование выполняют на генеральном плане будущего сооружения. При этом места расположения пунктов строительной сетки намечают таким образом, чтобы обеспечить сохранность наибольшего их числа в процессе производства строительных работ на площадке.

В зависимости от назначения строительной сетки и типа строящегося объекта длину стороны квадрата сетки принимают от 50 до 400 м. Наибольшее распространение получила сетка со стороной 200 м. В цеховых условиях для расстановки технологического оборудования сетку проектируют со стороной 10 - 20 м.

При создании строительной сетки используют частную прямоугольную систему координат. Начало этой системы выбирают таким образом, чтобы все пункты строительной сетки имели положительные значения абсцисс и ординат.

Координатные оси в большинстве случаев обозначают буквами А и В. Для обозначения номера пункта к буквам добавляют индекс, указывающий число сотен метров по оси абсцисс или ординат.

Требования к точности построения строительной сетки определяют исходя из ее назначения. Опыт строительства крупных промышленных комплексов показывает, что в большинстве случаев для выполнения основных разбивочных работ и исполнительных топографических съемок в масштабе 1:500:

- ошибки во взаимном положении смежных пунктов строительной сетки в среднем должны составлять 1:10000 или 2 см для расстояний между ними в 200 м,
- прямые углы сетки должны быть построены со средней квадратической ошибкой 20'',
- погрешность в положении пунктов в самом слабом месте относительно плановой геодезической основы (или исходного пункта сетки) должны быть не более 0.2 мм в масштабе плана, т.е. для 1:500 - 10 см.

Вынос в натуру строительной сетки с соблюдением (в пределах заданной точности) намеченных мест расположения ее вершин производят в два этапа:

1. Первоначально выносят в натуру исходные направления. На одном из них выбирают две точки А и В (рис. 15), координаты которых определяют графически и, используя координаты пунктов плановой основы, как правило, имеющихся в районе строительства, решают обратные геодезические задачи и вычисляют полярные координаты S_1 и S_2 , β_1 и β_2 . Для исключения грубых ошибок целесообразно вынести в натуру третью точку С по элементам S_3 , β_3 . После закрепления точек А, В и С на местности измеряют угол ВАС, по отклонению которого от 90° можно судить о точности выполненных работ.

Так как координаты точек А, В, С определялись по генплану графически, то точность их выноса в натуру составит около 0,2 - 0,3 мм на плане. Но это не играет существенной роли, так как на эту величину сместится весь комплекс проектируемых сооружений.

Однако таким способом нельзя выносить в натуру строительную сетку при реконструкции или расширении строящегося предприятия. В этом случае новую строительную сетку следует развивать как продолжение существующей. Если знаки построенной (старой) сетки не сохранились, следует восстановить на местности основные оси существующих цехов или установок, с которыми технологически связаны вновь создаваемые сооружения, и уже от них (как от исходных направлений) разбивать новую строительную сетку.

2. От вынесенного и закрепленного в натуре исходного направления выполняют детальную разбивку строительной сетки осевым способом и способом редуцирования.

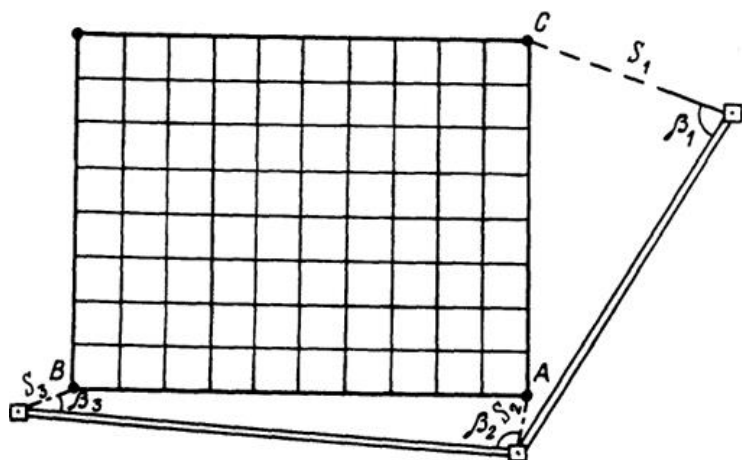


Рис. 15. Схема выноса в натуру исходных направлений строительной сетки

При *осевом способе* разбивки строительную сетку сразу строят на местности с расчетной точностью путем точного отложения проектных элементов. Для этого, опираясь на закрепленные исходные направления, стремятся вынести два взаимно перпендикулярных направления AB и AC , пересекающихся примерно в середине площадки (рис. 16).

Так как исходные направления вынесены в натуру с небольшой точностью, то угол BAC может значительно отличаться от прямого. Измеряют угол β двумя-тремя приемами теодолитом типа 2Т2 и, вычислив величину отклонения его от прямого угла $\Delta\beta = 90^\circ - \beta$, исправляют положение точек B и C линейными поправками ΔS_B и ΔS_C , чтобы направления AB и AC стали строго перпендикулярными. Поправки вычисляют по формулам

$$\Delta S_B = AB_1 \frac{\Delta\beta}{2\rho}; \Delta S_C = AC_1 \frac{\Delta\beta}{2\rho}, \quad (22)$$

причем расстояния AB_1 и AC_1 берут с генплана с точностью до 1 м.

Исправленное положение точек B и C закрепляют на местности и вдоль этих осей откладывают в створе по теодолиту отрезки, равные длинам сторон сетки. Измерения выполняют рулетками или лентами с натяжением по кольям с учетом поправок за температуру, наклон, компарирование.

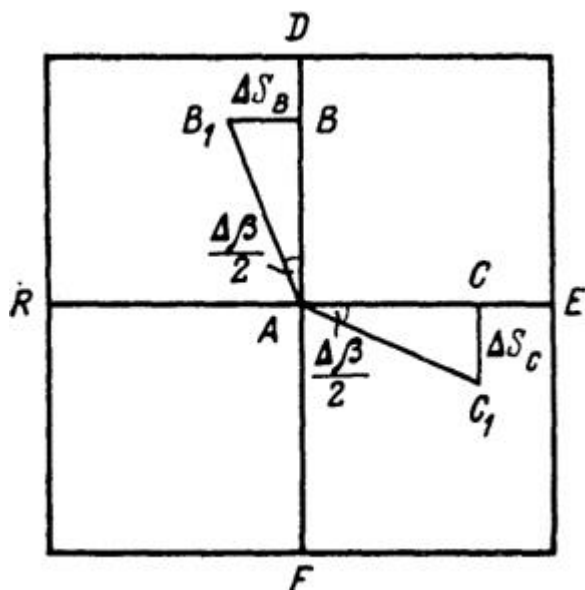


Рис. 16 Схема разбивки строительной сетки осевым способом

Целесообразно применять электронные тахеометры, позволяющие быстро вычислять горизонтальные проложения с учетом всех поправок. Закончив разбивку в конечных пунктах F , R , D , E , строят на них прямые углы и продолжают разбивку по периметру сетки. После этого временные знаки заменяют на постоянные. Затем по створам между соответствующими пунктами основных четырех полигонов разбивают и закрепляют заполняющие пункты сетки.

Если площадка небольшая, а разбивку вершин сетки производят с высокой точностью, то полученные координаты вершин сетки будут незначительно отличаться от проектных.

Однако при разбивке сеток больших размеров трудно с высокой степенью точности выполнить разбивку и учесть все поправки при откладывании длин линий.

В результате этого фактические результаты могут существенно отличаться от проектных, что вызовет определенные затруднения при разбивке сооружений. Поэтому применять осевой способ целесообразно на небольших площадках или там, где точность разбивочных работ невелика и отклонением координат пунктов сетки от них проектных значений в пределах 3 - 5 см можно пренебречь.

Для проектирования разбивочных работ удобнее иметь такую сетку, координаты пунктов которой практически не отличаются от проектных. Это можно получить при построении сетки способом редуцирования.

Последовательность работ при способе редуцирования :

- сетку сначала строят с точностью 1:1000 - 1:2000 согласно проекту на всей площадке и закрепляют временными знаками: деревянными столбами с гвоздем в торце, обозначающим центр; металлическими штырями или трубками на бетоне с накерненными центрами,

- затем создают на площадке плановые сети и определяют точные координаты всех закрепленных временными знаками пунктов сетки,

- из сравнения фактических координат с проектными определяют величины редукции, на которые нужно сместить каждый пункт предварительно разбитой сетки;

- выполняют редуцирование и пункты сетки закрепляют постоянными железобетонными знаками;

- выполняют контрольные измерения: выборочно углы и длины линий.

На больших площадках плановые сети строят в несколько этапов. В качестве главной основы могут служить сети триангуляции, трилатерации, светодальномерной полигонометрии или линейно-угловые сети.

Пункты главной основы стремятся расположить по углам площадки; между ними по периметру прокладывают ходы первого порядка, между которыми развивают ходы второго порядка.

Наиболее эффективным методом определения координат пунктов строительной сетки первого порядка является светодальномерная полигонометрия.

Для создания сетей второго порядка особенно эффективным является метод четырехугольников без диагоналей. Положение заполняющих пунктов строительной сетки может быть получено на местности также способом створов с пунктов основных полигонов.

Так как предварительная разбивка строительной сетки производится с точностью порядка 1:1000 - 1:2000, то после уравнивания координаты пунктов сетки будут существенно отличаться от их проектных значений. Чтобы найти на местности проектное положение пунктов, выполняют редуцирование. По фактическим и проектным координатам путем решения обратных геодезических задач определяют угловые β и линейные l элементы редукиций (рис. 17) и откладывают их от временных знаков. Для редуцирования составляют разбивочный чертеж, на который выписывают дирекционные углы всех направлений и элементы редукиций.

Редуцирование выполняется следующим образом. Над временным знаком, например A' , устанавливается и приводится в рабочее положение теодолит. От направления $A'B'$ откладывается угловой элемент редукиции β_B и фиксируется направление $A'A$. Вдоль этого направления при помощи рулетки откладывается линейный элемент редукиции l_A . Таким образом, на местности будет определено положение точки A , координаты которой соответствуют проектным значениям. Аналогичным образом редуцируют все пункты строительной сетки.

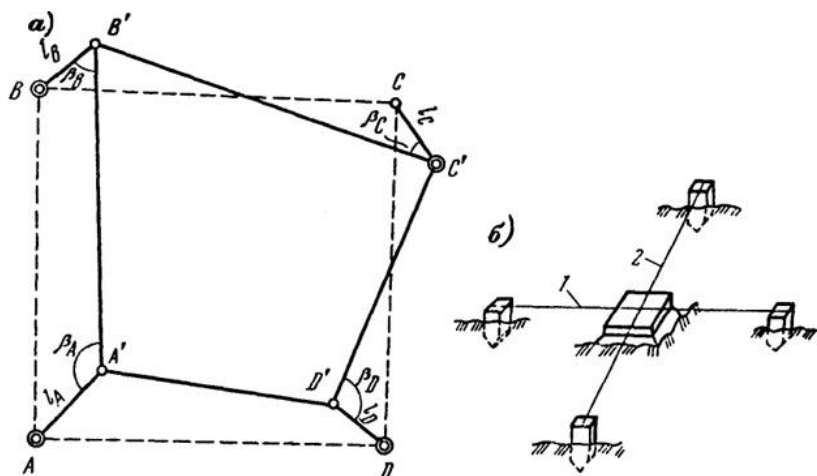


Рис. 17. Схемы редуцирования пунктов строительной сетки (а) и закрепления пункта постоянным знаком (б)

Отредуцированные пункты сетки закрепляют постоянными знаками, представляющими собой железобетонные монолиты или забетонированные отрезки рельсов, металлических труб и т. п. с приваренными сверху марками или металлическими пластинами размером 200×200 мм. Чтобы при закладке постоянного знака не утратить положение отредуцированного пункта, поступают следующим образом. Перед установкой знака положение пункта фиксируют двумя створами 1 и 2 на кольях. После установки знака по меткам на верхних торцах кольев натягивают струны (леску) и восстанавливают на знаке положение вершины сетки.

После закрепления сетки постоянными знаками необходимо выполнить контрольные измерения. Линейные измерения производят выборочно. Обычно проверяют длину отдельных сторон сетки в наиболее слабых местах (между ходами второго порядка). Контрольные угловые измерения выполняют на пунктах, расположенных в шахматном порядке, с таким расчетом, чтобы охватить все стороны сетки.

Под влиянием неизбежных ошибок измерений контрольные промеры будут отличаться от теоретических. Эти отклонения не должны превышать 20 мм в длинах сторон, 40'' - в прямых углах.

Если в результатах контрольных промеров промахов не обнаружено, то в дальнейшем при разбивке сооружений принимают координаты пунктов сетки, равными проектным, а углы между сторонами - прямыми.

Способ редуцирования является основным при построении больших строительных сеток. Но он имеет существенный недостаток - до установки постоянных знаков возникает опасность повреждения временных, а постоянные знаки можно устанавливать только после того, как выполнены точные измерения, уравнены их результаты и вычислены элементы редукции. Поэтому работу нужно организовывать так, чтобы свести к минимуму разрыв во времени между установкой временных и постоянных знаков. Этого можно достигнуть, лишь быстро выполнив точные измерения и уравнив их результаты.

По пунктам строительной сетки прокладывают ходы нивелирования III - IV классов. В этом случае строительная сетка служит высотной основой.

Закрепление пунктов. При установке на зданиях (сооружениях) геодезических знаков в виде специальных металлических или деревянных надстроек должна быть предусмотрена возможность снесения координат этих знаков на центры полигонометрии (предпочтительнее на стенные знаки) с измерением не менее двух базисов. Ориентирные пункты в этом случае не устанавливаются. Места установки геодезических пунктов и знаков на зданиях и сооружениях должны быть согласованы с главными архитекторами населенных пунктов. На незастроенных территориях на пунктах триангуляции закладывается центр типа (рис. 18) .

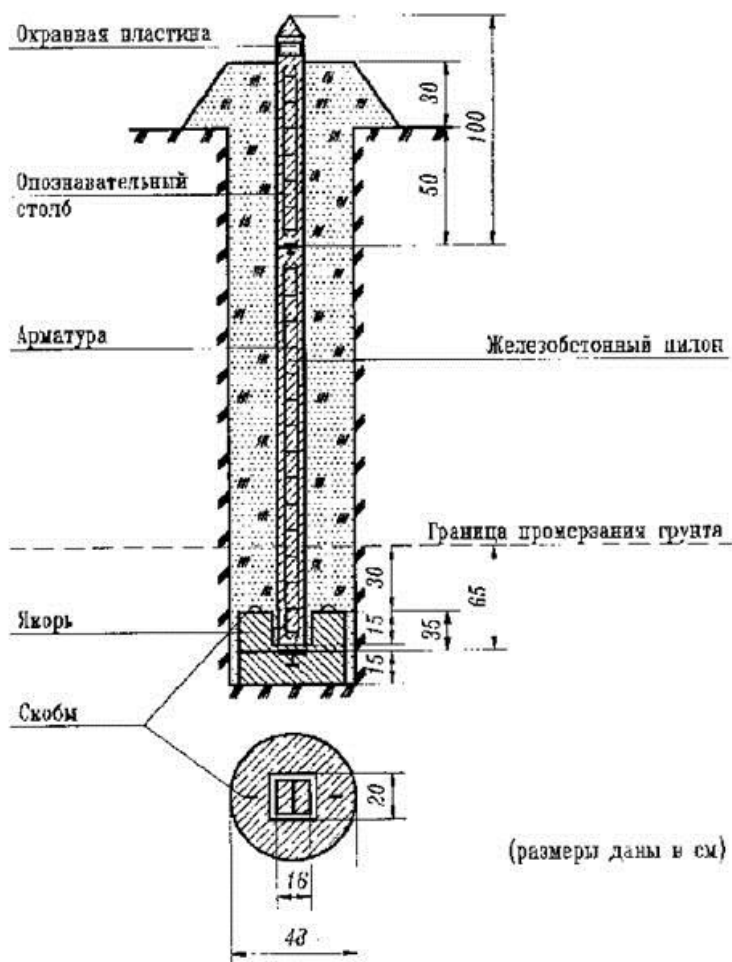


Рис. 18

При отсутствии видимости с земли (со штатива над центром пункта) знаков плановых опорных геодезических сетей или местных предметов (шпильей выдающихся зданий, водонапорных башен и т.п.) у каждого пункта триангуляции (трилатерации) на расстоянии не менее 500 м от него следует

устанавливать два ориентирных пункта в виде грунтовых центров.

В закрытой (лесной) местности расстояния между геодезическим пунктом и ориентирными знаками допускается уменьшать до 250 м, в этом случае ориентирные знаки могут располагаться на одной просеке и разнесены на расстояние свыше 50 м.

В случае примыкания к пунктам триангуляции (трилатерации) полигонометрических ходов ориентирные знаки у пункта не устанавливаются.

По согласованию с Главным управлением территориального градостроительства и архитектуры Министерства архитектуры и строительства закрепление пунктов может производиться и другими центрами. Допускается закрепление ходов временными знаками за пределами границ участка работ. На застроенной территории, как правило, должны применяться стенные знаки (рис. 19).

Геодезические центры следует закладывать в местах, обеспечивающих их долговременную сохранность неизменное положение в плане и по высоте, благоприятные и безопасные условия для измерения с учетом охраны природной среды (сохранение ценных угодий и насаждений).

Геодезические пункты, закрепленные постоянными центрами, подлежат сдаче местным органам власти или заказчику для наблюдения за сохранностью.

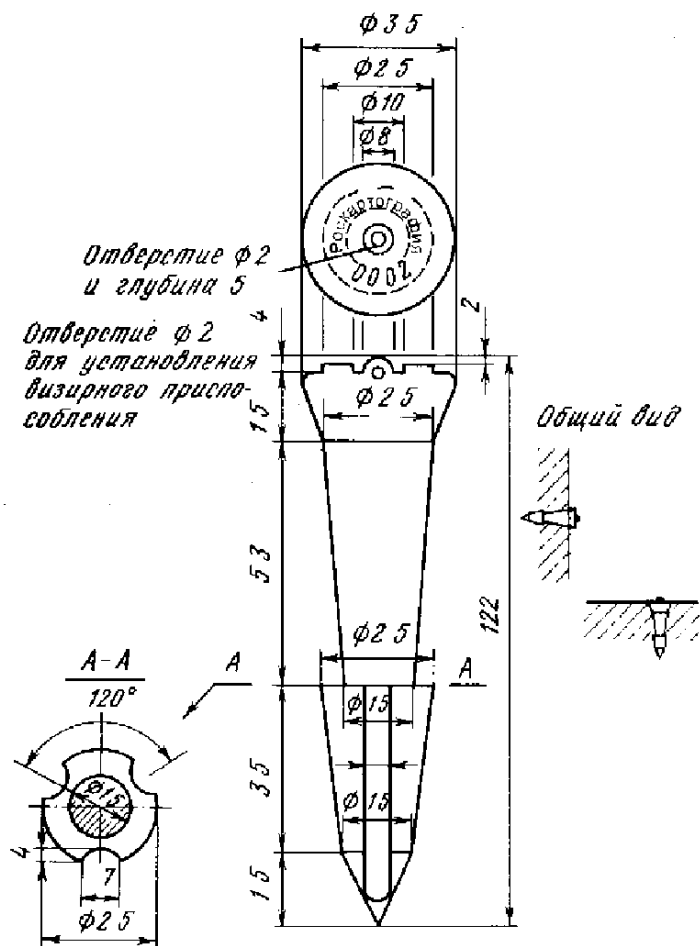


Рис. 19

ЛЕКЦИЯ № 4. ВЫСОТНЫЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ

Все работы на строительных площадках производятся в единой системе высот, принятой в период изысканий для проектирования сооружений. В случаях особо высокой точности, необходимой для строительства уникальных объектов или наблюдений за осадками сооружений, точность повышается за счет особой методики измерений при существенном уменьшении длин визирных лучей, расстояний между реперами и узловыми пунктами.

Высотная опорная сеть на строительной площадке должна обеспечивать выполнение разбивочных работ со средней квадратической ошибкой 10 мм и возможность наблюдений за величинами осадок возводимых сооружений со средней квадратической ошибкой 5 мм.

Проектирование высотной опорной сети состоит из следующих этапов:

- разработка схемы размещения марок на территории строительства;
- расчет точности определения отметок реперов, обеспечивающий требуемые допуски;
- детальное ознакомление с территорией строительства для уточнения типов и местоположения марок;
- составление сметы стоимости работ.

Проект высотной основы должен содержать: схему сети; чертежи закладываемых знаков и описание имеющихся; пояснительную записку с расчетом необходимой точности и стоимости производства работ.

В зависимости от размеров территории объекта и вида возводимого сооружения нивелирные сети обычно развивают в две или три ступени.

При строительстве и эксплуатации инженерных сооружений возникает необходимость в создании специальных вы-

сотных сетей и выполнении инженерно-технического нивелирования.

В этом случае возникает задача установления точности. Основные характеристики точности:

1. средняя квадратическая ошибка нивелирования на 1 км хода m_H ;
2. средняя квадратическая ошибка превышения между реперами, между узловыми точками и реперами

$$m_h = m_H \sqrt{L} \quad (23)$$

Высотная опорная геодезическая основа создается методами нивелирования [II](#), [III](#) и [IV](#) класса. Превышения между наиболее удаленными друг от друга реперами нивелирной сети должны быть известны с погрешностью не более 30 мм.

Нивелирная сеть создается в виде отдельных ходов, системы ходов (полигонов) или в виде самостоятельной сети и привязывается не менее чем к двум исходным нивелирным знакам (реперам) высшего класса. Допускается производить привязку нивелирных ходов IV класса к реперам ранее проложенного нивелирования IV класса.

Высотные опорные сети опираются не менее, чем на два репера государственного нивелирования более высокого класса. Однако бывают случаи, особенно при наблюдениях за деформациями инженерных сооружений, когда высотная опорная сеть является свободной, и лишь для привязки опирается на один репер государственной нивелирной сети.

Периметры полигонов нивелирования в зависимости от районов работ не должны превышать величин, указанных в таблице 5.

Таблица 5

Класс нивелирования	Периметры нивелирных полигонов, км	
	Застроенная территория	Незастроенная территория
II	50	80
III	25	40
IV	8	12

Точность и плотность высотных сетей зависит не только от точности разбивочных и съемочных работ, но и от размеров территории.

Таблица 6

Основные показатели	Классы нивелирования		
	II	III	IV
Средняя квадратическая ошибка нивелирования на 1 км хода, мм	2	5	10
Систематическая ошибка на 1 км хода, мм	0,4	-	-
Допустимые невязки и расхождения сумм превышений прямого и обратного ходов, мм	$5\sqrt{L}$	$10\sqrt{L}$	$20\sqrt{L}$
Максимальная длина хода, км:			
замкнутого	40	25	10
между пунктами высшего класса	-	15	5
между узловыми точками	10	5	3

Нивелирование II класса прокладывается в виде полигонов и ходов так, чтобы реперы располагались равномерно по всей территории работ.

Нивелирные знаки закладываются не реже чем через 2 км на застроенных и 3 км на незастроенных территориях.

Для нивелирования II класса следует применять нивелиры, удовлетворяющие следующим требованиям:

- увеличение трубы не менее 40х;
- цена деления контактного уровня не более 12" на 2 мм;
- погрешность самоустановки линий нивелирования у нивелиров с компенсатором не более 0,2 угл.сек;
- цена деления барабана плоскопараллельной пластины 0,05 мм.

Нивелирование II класса производится способом "совмещения" в прямом и обратном направлениях, как правило, по одной и той же трассе и по переходным точкам одного и того же типа. Через каждые две станции термометром-пращом измеряют температуру воздуха на высоте нивелира.

Нормальная длина луча визирования - 65 м. Если увеличение зрительной трубы не менее 44х и условия для наблюдений благоприятны, разрешается увеличивать длину луча до 75 м.

При сгущении нивелирной сети II класса нивелирование III класса следует производить в виде отдельных ходов или системы ходов и полигонов, опирающихся на реперы нивелирования высших классов.

Для нивелирования III класса следует использовать нивелиры, удовлетворяющие следующим требованиям:

- увеличение зрительной трубы не менее 30х;
- цена деления цилиндрического контактного уровня не более 30" на 2 мм;
- погрешность самоустановки линии визирования у нивелиров с компенсатором не более 0,5 угл. сек.

Оптимальное расстояние от нивелира до реек принимается 75 м. При отсутствии колебаний изображения реек и увеличении трубы не менее 35х длину визирного луча допускается увеличивать до 100 м. Высота визирного луча над подстилающей поверхностью должна быть не менее 0,3 м.

Нивелирование IV класса выполняют нивелирами, которые должны удовлетворять следующим требованиям:

- увеличение трубы не менее 25х;
- цена деления цилиндрического контактного уровня не более 30" на 2 мм;
- погрешность самоустановки линии визирования у нивелиров с компенсатором не более 0,5 угл.сек.

Оптимальная длина луча визирования - 100 м. В случае использования нивелира с увеличением трубы 30^x и более при спокойном изображении допускается увеличивать длину визирного луча до 150 м. Неравенство расстояний от нивелира до рек на станции не должно превышать 5 м, а накопление их в секции - 10 м. Высота луча визирования над подстилающей поверхностью допускается не менее 0,2 м.

Нивелирование IV класса, как правило, производится в одном направлении по стенным и грунтовым реперам, а также центрам опорных геодезических сетей.

Наибольшие требования к точности основных разбивочных работ по высоте возникают при строительстве метрополитенов и крупных самотечных канализационных коллекторов. Точность укладки коллекторов зависит от величины продольного уклона (0,0005) и расстояний между колодцами канализации (обычно 50, 75 или 100 м), а также от размеров сети канализации. Поэтому высотная разбивка осуществляется нивелированием II и III классов. Для высотного обеспечения строительства гидроузлов, магистральных каналов, систем мелиорации развивают нивелирные сети II – IV классов.

Съемочная геодезическая сеть строится в развитие опорной геодезической сети или в качестве самостоятельной геодезической основы и состоит из теодолитных ходов или заменяющей их триангуляции или трилатерации, прямых, об-

ратных и комбинированных засечек, ходов геометрического и тригонометрического нивелирования.

Средние погрешности высот точек съемочных геодезических сетей относительно ближайших реперов нивелирования II-IV класса не должны превышать $1/10$ высоты сечения рельефа на равнинной местности и $1/6$ высоты сечения рельефа на всхолмленной местности.

Точки съемочной сети, как правило, должны закрепляться временными знаками: металлическими костылями, штырями и трубками, деревянными столбами и кольями, а также гвоздями, вбитыми в пни и столбы.

На застроенной территории в качестве точек съемочной сети следует использовать четко обозначенные на местности предметы: люки подземных коммуникаций, углы капитальных зданий и сооружений, граничные столбы и др.

На незастроенной территории, когда съемочная сеть является самостоятельной геодезической основой, не менее чем пятая часть ее точек должна быть закреплена постоянными.

При построении *высотной съемочной сети*, в случае отсутствия на участке изысканий реперов и марок государственной нивелирной сети, ходы технического нивелирования должны закрепляться нивелирными знаками из расчета не менее трех знаков на участок работ и не реже чем через 2 км один от другого.

При изысканиях по трассам линейных сооружений на незастроенных территориях начальная и конечная точки трасс, если они не фиксированы на местности, вершины углов поворота, а также створные точки прямолинейных участков в пределах взаимной видимости, но не реже чем через 1 км, должны закрепляться деревянными или железобетонными столбами, металлическими уголками и др.

На застроенных территориях закрепление трасс не производится, а их точки привязываются к постоянным элементам ситуации.

Нивелирные знаки по трассам автомобильных и железных дорог и магистральных каналов должны устанавливаться не реже чем через 2 км, а по трассам трубопроводов - не реже чем через 5 км (в том числе на переходах через большие водотоки и на организуемых водомерных постах).

Высоты точек съемочной сети, а также отдельных пунктов триангуляции(трилатерации) и полигонометрии, не включенных в нивелирную сеть III-IV класса, определяются техническим нивелированием.

Отдельные ходы технического нивелирования или системы ходов с узловыми точками должны опираться не менее чем на два исходных репера нивелирования II-IV класса. В исключительных случаях разрешается проложение замкнутых ходов, опирающихся на один исходный репер.

Техническое нивелирование следует выполнять нивелирами с увеличением трубы не менее 20 и ценой деления уровня не более 45" на 2 мм, а также теодолитами с компенсаторами или уровнем при трубе по двум сторонам реек с отсчетом по средней нити.

Расхождения между превышениями, полученными по двум сторонам реек на станции, не должны превышать 5 мм.

Расстояния от инструмента до реек должны быть примерно равны и не превышать 150 м.

При хороших условиях видимости, спокойных изображениях или с увеличением трубы более 30х допускается длина луча до 200 м.

Тригонометрическое нивелирование может применяться для определения высот точек съемочной сети при топографических съемках с высотой сечения рельефа не менее чем через 1 м.

Исходными для тригонометрического нивелирования служат пункты, высоты которых получены из геометрического нивелирования. Исходные пункты должны располагаться не реже чем через пять сторон хода тригонометрического нивелирования.

Определение превышений производится в прямом и обратном направлениях.

Точность измерений углов и линий должна быть такой, чтобы расхождения между прямыми и обратными превышениями были не более 4 см на каждые 100 м длины линии, а допустимые невязки в ходах не превышали величины $0,04S/100\sqrt{n}$, м, где S - длина хода, м; n - число сторон в ходе.

Длины ходов тригонометрического нивелирования не должны превышать 2 и 6 км соответственно при высоте сечения 1 и 2 м.

Допускается проложение висячих ходов с учетом требований и определением превышений с контролем.

В особых случаях могут устанавливаться более высокие требования тригонометрическому нивелированию, а также увеличиваться длины ходов с обоснованием методики работ в программах изысканий или отчетах о выполненных работах.

Процесс определения превышений сопровождается случайными и систематическими ошибками. Случайные ошибки измерений компенсируются, а систематические накапливаются. В связи с этим методика работ по нивелированию должна быть такой, чтобы систематические ошибки в значительной мере исключались в процессе производства работ или же исключались путем введения соответствующих поправок в результаты измерений.

Систематические ошибки обусловлены действием следующих трех групп основных факторов:

- влиянием внешних условий,
- влиянием приборных ошибок,
- влиянием личных ошибок наблюдателя.

Каждая группа факторов состоит из нескольких источников ошибок.

Систематические ошибки, обусловленные влиянием внешних условий, вызываются следующими основными источниками: кривизной Земли, рефракцией, вертикальным перемещением нивелирных реек, вертикальным перемещением штатива (нивелира).

Систематические *приборные* ошибки вызываются источниками: непараллельностью визирной оси и оси цилиндрического уровня (несоблюдение главного условия), или не горизонтальностью визирной оси из-за погрешностей работы компенсатора; неправильным ходом фокусирующей линзы; недостаточной разрешающей способностью зрительной трубы; наклоном нивелирных реек; несовпадением нулевых делений реек с их пятками (смещение пяток); ошибками делений метровых интервалов реек; ошибками из-за изменения длин реек при изменении температуры воздуха и его влажности.

Систематические *личные* ошибки наблюдателя включают: ошибку округления отсчета по рейке при визировании через трубу, ошибку в отсчете по рейке из-за неточной установки визирной оси в горизонтальное положение.

Случайные ошибки обусловлены действием следующих факторов: ошибками (случайными) нанесения дециметровых делений реек, влиянием конвекционных потоков воздуха.

Кроме этого на определяемое превышение оказывают влияние ошибки, вызванные:

— гидротермическим движением земной коры (оседание грунта в весенне — летний период и его поднятие при замерзании в осенне — зимний),

— изменением величины уклонения отвесной линии под действием Луны и Солнца.

В нивелировании III и IV классов влияние последних двух источников не учитывается.

ЛЕКЦИЯ № 5. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ

Крупномасштабными называется инженерно-топографические планы, составленные в масштабе 1:5000–1:500. Они создаются путем топографических съемок или составлением по материалам съемок более крупного масштаба.

Допускается создание планов незастроенных территорий по материалам съемок смежного более мелкого масштаба при соответствующем обосновании в программе изысканий; при этом на таких топографических планах должен быть указан метод их создания и точность съемки.

По назначению планы подразделяются на 3 группы:

1. Основные, созданные с целью картографирования территории;
2. Специализированные планы: кадастровые, лесоустроительные, русловые, инженерно-топографические, землеустроительные;
3. В зависимости от решаемых задач различают изыскательские, исполнительные, инвентаризационные планы.

Топографическая съемка местности выполняется комбинированным, аэрофототопографическим, горизонтальным и высотным, тахеометрическим методами, а также сочетанием различных методов.

Методы наземной топографической съемки применяются в случаях, когда применение аэрофотосъемки не представляется возможным, экономически нецелесообразно или аэрофототопографический метод не обеспечивает требуемой точности.

Топографическую съемку следует выполнять при высоте снежного покрова не более 20 см. Инженерно-топографические планы, составленные по материалам съемки, выполненной при высоте снежного покрова более 20 см, подлежат обновлению в благоприятный период года.

Инженерно-топографические планы могут быть представлены в графическом виде или в виде цифровой модели местности.

Исходная топографо-геодезическая информация о местности, необходимая для создания цифровых моделей, получается методами, указанными в [СНБ 1.02.01-96](#), а также путем преобразования в цифровую форму имеющихся топографических планов.

Точность цифровой модели местности должна соответствовать точности инженерно-топографического плана соответствующего масштаба.

В зависимости от способа дальнейшего использования, созданная цифровая модель местности должна иметь возможность вывода из ЭВМ, как в цифровом, так и в графическом виде.

Средние погрешности в положении на инженерно-топографических планах изображений предметов и контуров местности с четкими очертаниями относительно ближайших точек съемочной геодезической сети не должны превышать 0,5 мм, а в залесенных районах - 0,7 мм.

На территориях с капитальной застройкой предельные погрешности во взаимном положении на плане углов капитальных зданий и сооружений, расположенных один от другого на расстоянии до 50 м, не должны превышать 0,4 мм.

Средние погрешности съемки рельефа относительно ближайших точек съемочной геодезической сети не должны превышать от принятой высоты сечения рельефа:

- 1/4 - при углах наклона до 2°;
- 1/3 - при углах наклона свыше 2° до 6° для планов в масштабах 1:5000 и 1:2000 и до 10° для планов в масштабах 1:1000 и 1:500.

В районах с углами наклона рельефа свыше 6° для планов масштабов 1:5000 и 1:2000 и свыше 10° для планов масштабов 1:1000 и 1:500 число горизонталей должно соответ-

ствовать разности высот, определенных на перегибах скатов, а средние погрешности высот, определенных на характерных точках рельефа, не должны превышать $1/3$ принятой высоты сечения рельефа. На залесенных участках местности указанные допуски увеличиваются в полтора раза.

Инженерно-топографические планы должны быть оформлены и вычерчены в соответствии с действующими условными знаками. При отображении элементов ситуации и рельефа местности следует учитывать указания, приведенные в пояснениях к действующим условным знакам.

На инженерно-топографических планах в масштабах 1:5000 - 1:500 подлежат отображению действующими условными знаками:

- пункты геодезических сетей, закрепленные постоянными знаками (наносятся по координатам);
- здания и сооружения;
- дорожная сеть и сооружения на ней;
- гидрография и гидротехнические сооружения;
- закрепленные на местности границы и ограждения;
- рельеф местности с применением горизонталей, отметок высот и условных знаков (обрывов, воронок, осыпей, оврагов и т.п.);
- растительный покров (леса, кустарники, сады, луга);
- грунты (пески, галечники, болота и др.);
- подземные и надземные коммуникации и сооружения.

На планах в масштабах 1:5000 и 1:2000 не следует показывать:

- нежилые строения индивидуального пользования площадью менее $1,5 \text{ м}^2$ на плане;
- отмостки и внутриквартальные проезды шириной менее 1 м на плане;
- деревянные и живые изгороди высотой менее 1 м;

- подземные коммуникации на территориях городов и промышленных площадок предприятий, кроме магистральных сетей;
- переносные и временные сооружения, временные заборы и сооружения на строительных площадках;
- архитектурные выступы и уступы зданий и сооружений величиной до 0,5 мм на плане;
- контуры сельскохозяйственных угодий на плане до 50 мм².

Топографическую съемку рек, ручьев, каналов и других водотоков при ширине их изображения на плане более 3 мм следует выполнять по двум берегам, а при ширине до 3 мм - по одному берегу. Высоты урезов должны быть подписаны с указанием даты их определения, вблизи рамок планов и не реже, чем через 15 см вдоль водотока на плане.

При съемке леса должны определяться: преобладающая порода, средняя высота деревьев, толщина их на высоте 1,5 м, средние расстояния между деревьями, контуры вырубок, гарей, полян и сельскохозяйственных угодий, находящихся среди леса. Отдельно стоящие деревья подлежат съемке и нанесению на планы всех масштабов.

При съемке болот следует показывать на планах их растительный покров.

Рельеф местности изображается на планах горизонталями в сочетании с условными знаками и высотами. Для изображения характерных особенностей рельефа (вершины, котловины, седловины, поймы рек и др.) проводятся полугоризонтالي.

На участках с плотной застройкой допускается характеризовать рельеф местности высотами без проведения горизонталей. По изображениям строений, улиц, проездов и автомобильных дорог горизонтали, как правило, не проводятся.

Кладбища, изрытые участки, карьеры и свалки характеризуются высотами по их контуру и в отдельных местах внутри контура без проведения горизонталей.

На инженерно-топографических планах в масштабах 1:500 и 1:1000 высотными пикетами должны быть охарактеризованы:

- головки рельсов железных дорог;
- углы, цоколи или полы капитальных зданий;
- верх и низ подпорных стенок, укрепленных откосов и бетонированных лотков, плотин, мостов и других объектов;
- площадки у входов в капитальные здания;
- места изменения профиля спланированных поверхностей и мощения;
- обечайки колодцев подземных коммуникаций, земля или мощение у колодца, а также расположенные в колодце трубы, кабели, каналы. Высоты по дорогам и проездам должны выписываться по поперечным профилям, размещенным не реже чем через 8 см на плане.

Инженерно-топографические планы должны проверяться и приниматься в поле. Приемка планов оформляется актом.

Выбор высоты сечения рельефа и масштаба.

Масштаб съемки выбирают в зависимости от следующих факторов:

- задачи проектирования;
- стадии проектирования;
- сложности ситуации и рельефа местности.

При проектировании объектов на незастроенных территориях требования к точности планов может быть несколько занижены и соответственно для проектирования достаточно планов масштаба 1:5000, 1:2000, для рабочих чертежей — 1:1000. При проектировании сооружений с учетом существующей застройки, подземных коммуникационной сети, дорог

требования к топографической основе повышаются: для проектирования – 1:2000, 1:1000, для рабочих чертежей – 1:500.

Высота сечения рельефа при топографических съемках, в зависимости от масштаба создаваемого плана и с учетом рельефа местности, должна приниматься в соответствии с таблицей 7 или быть обоснована в программе изысканий.

Таблица 7

Характеристика участка съемки	Масштаб съемки	Высота сечения рельефа, м
Территория с капитальной застройкой с подземными и надземными сооружениями	1:500	0,5
Незастроенная территория или малозастроенная территория с одноэтажной застройкой с незначительным количеством подземных и надземных сооружений	1:5000-1:1000	2; 1; 0,5
Территории для новых микрорайонов, кварталов и групп зданий	1:1000; 1:500	0,5
Трассы линейных сооружений на застроенных территориях	1:2000-1:500	1; 0,5
Трассы линейных сооружений на незастроенных территориях	1:5000-1:1000	2; 1; 0,5
Примечание - На незастроенной территории в сложных геоморфологических условиях допускается выполнять топографическую съемку в масштабе 1:500 при соответствующем обосновании в программе работ.		

При съемке асфальтированных территорий, спланированных площадок, участков с плоским равнинным рельефом для проекта вертикальной планировки при аэродромном строительстве и подготовке поверхности для мелиоративного строительства допускается высота сечения рельефа через 0,25 м.

Топографические планы характеризуются *точностью их построения, детальностью, полнотой* изображения ситуации и рельефа.

Под точностью понимают суммарную среднюю квадратическую погрешность в плановом и высотном положении точек ситуации и рельефа, она вычисляется по формуле:

$$m_n = m_x + m_y \quad (24)$$

где m_x, m_y – средние квадратические погрешности измерения на плане координат точек. Погрешности координат точек включают в себя ошибки развития планового обоснования, ошибки съёмочных измерений и графических построений, погрешности вследствие деформации планшето́в.

Средняя погрешность планового положения точек относительно пунктов опорной геодезической сети не должна превышать:

– 0,1 мм в масштабе создаваемого плана на открытой местности и застроенной территории;

– 0,15 мм в масштабе создаваемого плана для местности закрытой древесной и кустарниковой растительностью.

Существует такая зависимость: чем крупнее масштаб, тем меньше величина точности определения координат точек на местности: точность плана масштаба 1:1000 будет составлять 0,1 м; масштаба 1:500 – 0,05 м.

Обычно при проектировании, задаваясь допустимой погрешностью в размерах снимаемых сооружений и объектов, можно определить необходимый масштаб плана и его точность. Например, на строительной сетке в качестве предельной погрешности выступает погрешность планируемой точки сооружения.

Точность инженерно-топографических планов оценивается по величинам средних расхождений положения пред-

метов и контуров местности на планах, а также в высотах точек, рассчитанных по горизонталям, с данными контрольных полевых измерений.

Предельные расхождения не должны превышать удвоенных значений допустимых средних погрешностей. Расхождения, превышающие предельные, должны устраняться в поле, при этом количество их не должно быть более 10% от общего числа контрольных измерений.

Детальность – это степень генерализации изображения, т. е. степень соответствия контуров и элементов рельефа на плане и на местности. Чем меньше знаменатель масштаба плана, тем выше детальность плана. Выпрямление контуров и выступов зданий допускается, если погрешность за обобщение четких контуров не превышает на плане 0,5 мм, а для архитектурных элементов – 0,3 мм.

Полнота плана – это степень его насыщенности элементами ситуации и рельефа, изображение которых необходимо для проектирования и возможно при принятом масштабе плана и высоте сечения рельефа. Полнота плана выражается наименьшими размерами предметов и наименьшими расстояниями между предметами.

Топографическую съемку контуров застройки, подлежащей сносу, допускается выполнять с меньшей детальностью и точностью, чем это требуется при съемке капитальной застройки в соответствующем масштабе. Требования к меньшей детальности и точности съемки должны быть предусмотрены программой изысканий.

На застроенных территориях в масштабах 1:2000-1:500 выполняется горизонтальная съемка самостоятельно или в сочетании с высотной съемкой. Горизонтальную съемку следует выполнять способами: перпендикуляров, створов, засечек, полярным, графоаналитическим или сочетанием этих способов. При всех способах съемки должны составляться абрисы, вы-

полняться обмеры габаритов зданий и сооружений, измеряться контрольные промеры между ними.

Горизонтальная съемка застроенных территорий в масштабе 1:5000 и территорий с редкой застройкой в масштабе 1:2000, как правило, выполняется методом тахеометрической съемки. Съемку следует выполнять с пунктов опорной и точек съемочной геодезических сетей. Створные точки между пунктами геодезической основы должны определяться промерами от соответствующих пунктов с относительной погрешностью не грубее 1:2000.

При съемке способом перпендикуляров длины перпендикуляров должны быть не более 60, 40 и 20 м соответственно при съемке в масштабах 1:2000, 1:1000 и 1:500. Перпендикуляры более указанных значений должны подкрепляться линейными засечками.

При использовании способа засечек угол засечки должен быть в пределах от 30 до 150°.

При использовании полярного способа съемки горизонтальные углы следует измерять теодолитом при одном положении круга со средней погрешностью не более 1'. По окончании работы на станции следует проверять ориентирование лимба теодолита. Отклонение от первоначального ориентирования не должно превышать 1,5'.

Допускается использовать полярные направления для съемки с них способом перпендикуляров и линейных засечек неответственных элементов ситуации (границы покрытий, угодий, деревьев и др.).

При выполнении высотной съемки весь участок должен быть равномерно покрыт высотными пикетами. Кроме того высотные пикеты должны быть определены на всех характерных точках местности, чтобы обеспечить возможность отображения всех деталей рельефа.

Высоты люков колодцев подземных сооружений, цоколей и полов капитальных зданий, бетонированных лотков,

настила мостов и верха труб на дорогах должны определяться при геометрическом нивелировании по двум сторонам рейки, а при тригонометрическом нивелировании при двух положениях вертикального круга. Высоты остальных пикетов определяются по одной стороне рейки или при одном положении вертикального круга. При расстояниях до пикетов более 250 м следует вводить поправки за кривизну земной поверхности и рефракцию.

На улицах и проездах должны разбиваться поперечные профили в местах перегиба рельефа, по осям пересекающихся улиц. На прямолинейных участках расстояние между профилями устанавливается заданием и программой изысканий.

В результате выполненных работ по горизонтальной и высотной съемке застроенных территорий должна быть представлена следующая документация:

- абрисы и журналы съемки;
- оригиналы планов на жесткой основе или пластике;
- каталог координат и высот точек;
- акты контроля и приемки работ.

Автоматизация крупномасштабных съемок.

К автоматизированным методам топографических съемок относят: электронную тахеометрию, спутниковую систему позиционирования.

Электронная тахеометрия. Современные электронные тахеометры объединяют в себе электронный теодолит, светодальномер, микро-ЭВМ с пакетом прикладных программ и регистратор информации (модуль памяти). Для управления работой прибора служит пульт управления с клавиатурой ввода данных и управляющих сигналов. Результаты измерений высвечиваются на экране дисплея (цифровом табло) и автоматически заносятся в карту памяти. Передача накопленной информации в компьютер может выполняться непосредственно из карты памяти либо путем подсоединения тахеометра к компьютеру с помощью интерфейсного кабеля.

Спутниковая система позиционирования. Одним из самых современных методов ведения съемочных работ – спутниковый, позволяющий с высокой точностью определять местоположение (координаты) точки по данным спутниковых наблюдений вне зависимости от места, времени суток и погоды.

Использование цифровой топографической съемки упрощает передачу полученных данных в ГИС и САПР. А технологии, позволяющие фиксировать геометрическую и атрибутивную информацию непосредственно в поле для создания цифровой картографической основы (ЦКО), имеют очевидное преимущество. НПП «Геокосмос» разработало и успешно применяет новую технологию цифровой топографической съемки, основанную на сборе пространственной информации с использованием спутниковых геодезических систем реального времени и электронных тахеометров и получении цифрового плана со связанной с ним базами данных непосредственно в поле, минуя стадию уравнивания. В поле спутниковыми методами в реальном масштабе времени – RTK (RealTimeKinematic) с точностью 2 – 3 см определяются плановые и высотные координаты пикетов. Электронный тахеометр используется для досъемки участков, где применение спутниковых методов по условиям наблюдений невозможно, затруднительно или неэффективно.

При сборе данных о местности спутниковым приемником и электронным тахеометром, помимо автоматически вычисляемых координат, в контроллер (накопитель информации) заносят вручную описание пикетов (номер, код объекта, которому принадлежит пикет, сведения о последовательности соединения его с другими пикетами и т. д.).

После переноса результатов съемки в память компьютера автоматически производится рисовка топографического плана, составление связанной с ним базы данных, а при необходимости исполнитель, дополнив или откорректировав эти

данные, может использовать их в ГИС конечного пользователя или САПР. Переносить данные измерений в компьютер, обрабатывать и редактировать полученную ЦКО можно непосредственно в поле, что повышает достоверность результатов съемки и исключает досъемку отдельных элементов местности. Таким образом, с помощью комплекта спутникового оборудования для съемки в реальном масштабе времени и электронного тахеометра в дополнение к нему быстро и эффективно реализуется цифровая технология в полевой части производства топографических съемок различного назначения.

Мощным средством автоматизации тахеометрической съемки является применение современных программных комплексов для обработки результатов измерений. Такие комплексы позволяют решать все необходимые задачи для получения топографического плана съемки в электронном виде, что сделает возможным создание безбумажной технологии в геодезии. Наиболее распространенным программным комплексом для изысканий и проектирования инженерных сооружений является «CREDO DIALOGUE» в результате применения, которого можно получить цифровую модель местности.

Система CREDO предназначена для создания и инженерного использования топографических крупномасштабных планов в виде цифровых моделей местности. Система обеспечивает обработку результатов топографической съемки: дигитализации сканированных картографических материалов; импорт результатов линейных изысканий; создание, отображение, использование цифровых моделей рельефа и ситуации; проектирование трасс линейных сооружений; формирование данных для продольных и поперечных топографических профилей (разрезов) инженерных сооружений; расчет объемов работ между двумя поверхностями, экспорт цифровой модели объектов в проектирующие системы; экспорт цифровой моде-

ли местности в формате 3D-DXF; создание «твердых копий» плана в листах или планшетах в формате 2D-DXF.

Основной объем данных для формирования цифровой модели местности (ЦММ) и ситуации приходит из CREDO-DAT, CAD-CREDO и других систем сбора и обработки топографической информации. Эти данные поступают через открытый обменный формат (ООФ) и могут содержать всю необходимую информацию для полного автоматизированного построения ЦММ.

Программа TRANSFORM предназначена для обработки растровых файлов, полученных в результате сканирования картографических материалов, схем и чертежей. В результате работы программы создается электронная растровая подложка, которая может использоваться в системах комплекса CREDO для выпуска чертежей, топографических планов и схем, оформленных в соответствии с действующими нормативными документами.

Съемка подземных коммуникаций

При отсутствии инженерно-топографических планов или исполнительных чертежей, их недостаточной полноте или точности, выполняется съемка подземных и надземных инженерных коммуникаций. Съемка выполняется одновременно с топографической съемкой методами и средствами, принятыми для горизонтальной и высотной съемок застроенных территорий.

В комплекс работ по съемке существующих подземных и надземных инженерных коммуникаций входят:

- сбор и анализ имеющихся материалов;
- рекогносцировка;
- обследование подземных и надземных сооружений;
- плановая и высотная съемка выходов подземных сооружений на поверхность земли;

- поиск и съемка подземных сооружений, не имеющих выходов на поверхность земли;

-

составление плана подземных и надземных инженерных коммуникаций с их техническими характеристиками и согласование его полноты с эксплуатирующими организациями.

До начала полевых работ по съемке существующих подземных и надземных сооружений должны быть собраны исполнительные чертежи, инженерно-топографические планы, проектные, инвентаризационные и другие материалы о наличии, технических характеристиках и планово-высотном положении подземных и надземных сооружений. На основе анализа собранных материалов устанавливается возможность их использования в намечаемых работах.

Рекогносцировка производится для отыскания на местности по внешним признакам местоположения и назначения подземных инженерных коммуникаций.

При обследовании подземных и надземных сооружений должны быть определены следующие элементы и технические характеристики:

- *по водопроводу*: материал и наружный диаметр труб; назначение (хозяйственно-питьевой, производственный);

- *по канализации*: характеристика сети (напорная, самотечная); назначение (бытовая, производственная, дождевая); материал и диаметр труб (внутренний для самотечных и наружный для напорных сетей).

При съемке подземных и надземных коммуникаций должны быть отражены:

по водопроводу- ось трубопровода, углы поворота, вводы в дома, выпуски, центры люков колодцев, водозаборные и питьевые колонки, пожарные гидранты и поливочные краны;

по канализации- ось коммуникации, бесколодезные повороты, центры люков колодцев и камер, выводы из домов, решетки дождеприемников, аварийные выпуски;

по теплосети- ось трубопроводов, углы поворота, вводы и выходы в здания, центры люков камер, места выходов на поверхность;

по газопроводу- ось трубопроводов, углы поворотов, места входов в дома, места выходов на поверхность, центры люков колодцев и крышек ковров, газорегуляторные пункты;

по силовым кабельным сетям- ось кабелей, вводы и выходы в здания и сооружения, центры люков колодцев;

по телефонным сетям- ось телефонной канализации или кабеля, центры люков колодцев, места ввода в дома, распределительные шкафы, коробки, щиты, телефонные будки;

по дренажу- оси трубопроводов, галереи для сифонных труб, трубчатого коллектора, центры люков смотровых колодцев.

Непосредственно съемку подземной коммуникации производят после отыскания (определения местоположения) всех ее элементов на местности. Известны следующие методы съемки:

1) исполнительная съемка коммуникации до засыпки траншей;

2) шурфование;

3) аэрофотосъемка;

4) индуктивный метод.

Самый простой случай – когда производится *исполнительная съемка уложенной подземной коммуникации в незаасыпанной траншее*, т. е. сразу же после окончания строительства, реконструкции, ремонта. Этот метод дает наибольшую точность. При съемке на застроенной территории плановое положение всех видов подземных сетей и относящихся к ним сооружений, определяют от пунктов геодезических сетей и от постоянных точек капитальной застройки, на незастроенной территории – от пунктов геодезических сетей.

Горизонтальную съемку от пунктов геодезических сетей выполняют всеми известными способами: линейных, уг-

ловых и створных засечек, полярным, перпендикуляров и др.; от точек капитальной застройки – линейными засечками, способами перпендикуляров и створов.

Линейные засечки выполняют не менее чем от трех точек, длина их не должна превышать длины мерного прибора, углы засечек при определяемой точке должны быть не менее 30° и не более 120° . Длина перпендикуляров не должна быть более 4 м. При полярном способе углы измеряются теодолитом при одном положении вертикального круга, длина полярного направления не должна превышать 30 м.

При всех способах съемки точек подземной коммуникации обязательно производят контрольные измерения расстояний между ними. Точки подземной коммуникации, расположенной в траншее, при съемке выносят на поверхность земли отвесом. При съемке колодцев и камер производят измерение внутренних, и внешних габаритов, отдельных конструктивных элементов, расположения труб с привязкой к отвесной линии, проходящей через центр крышки колодца. Высотное положение подземных сетей и сооружений определяют в основном техническим нивелированием.

Нивелирование подземных сооружений включает определение с точностью технического нивелирования высот люков (обчачек) всех колодцев, земли или мощения у колодца (если их высоты отличаются более чем на 10 см), а также высот, расположенных в колодце труб, лотков, каналов и кабелей промерами от обчачайки с отсчетом до 1 см.

В колодцах и камерах подлежат нивелированию:- в самотечных сетях - дно лотка; в перепадных колодцах, кроме того, высота низа входящей трубы; в колодцах-отстойниках - дно колодца, низ входящей и выходящей трубы;- в каналах и коллекторах - верх и низ каналов (коллекторов);- в кабельных сетях - место пересечения кабеля со стенками колодца или верх пакета при кабельной канализации.

После обработки полевых материалов результаты съемки подземных коммуникаций с подробной их инженерной характеристикой отображаются на топографическом плане соответствующего масштаба. Дополнительно составляются продольные профили отдельных видов подземных коммуникаций. Основой для составления исполнительных чертежей построенных коммуникаций служат копии согласованного проекта в масштабе 1:500 или план этого же масштаба, составленный по результатам съемки полосы трассы не менее 20 м в обе стороны от ее оси.

Для уже эксплуатируемых сетей при отсутствии исполнительной документации применяют метод *шурфования*, т. е. роют глубокие поперечные траншеи (шурфы) на таком расстоянии одна от другой, чтобы можно было с достаточной достоверностью выявить и определить положение всех необходимых коммуникаций. Это метод дает достаточно высокую точность, но сопряжен с различными опасностями (аварии на кабельных сетях).

На больших площадях может быть использована *крупномасштабная аэрофотосъемка по отмаркированным колодцам*, выходам сетей на поверхность. Этот метод дорогостоящий.

В последнее время для выявления местоположения подземных коммуникаций применяют специальные индуктивные приборы – *трубокабелеискатели* (рис. 20). Их используют в период эксплуатации, т. е. когда коммуникации скрыты и на поверхности земли существуют лишь смотровые и регулировочные сооружения. Существует много специализированных электронных приборов – трассоискатели, кабелеискатели, искатели трубопроводов и т. д. Принцип действия приборов поиска подземных коммуникаций основан на законе электромагнитной индукции и заключается в обнаружении переменного магнитного поля, существующего вокруг токо-

несущих кабелей, или искусственно создаваемого вокруг отыскиваемых металлических трубопроводов.

Фиксация точек скрытых подземных коммуникаций выполняется с помощью приборов поиска, как правило, через 20, 30, 50 и 100 м при съемках в масштабах 1:500, 1:1000, 1:2000 и 1:5000 соответственно.

Глубина заложения бесколодезных прокладок, определяемая при наличии специального задания, должна фиксироваться приборами поиска дважды, как правило, в разные стороны от оси трассы. Расхождения между результатами измерений не должны превышать 15%.



Рис. 20 Трубокабелеискатель

Средние погрешности в положении на инженерно-топографических планах скрытых точек подземных сооруже-

ний, определенных с помощью приборов поиска, относительно ближайших капитальных зданий и точек съемочной геодезической сети, не должны превышать 0,7 мм в масштабе плана.

Планы подземных и надземных коммуникаций составляются совмещенными с топографическими планами в результате чего получается инженерно-топографический план.

Допускается создание отдельных планов инженерных коммуникаций и топографических планов. При этом планы подземных и надземных коммуникаций могут быть представлены с отображением всех сетей на одном плане, с отображением отдельно плана трубопроводных сетей и кабельных сетей или по отдельным видам (группам) инженерных коммуникаций. Планы подземных и надземных инженерных коммуникаций могут быть представлены в виде цифровых моделей местности.

В результате выполнения работ по съемке подземных и надземных инженерных коммуникаций должна быть представлена документация:

- журналы обследования и нивелирования подземных и надземных сооружений; - абрисы съемки;
- планы инженерных коммуникаций, согласованные с эксплуатирующими организациями;
- эскизы камер, колодцев и опор при детальном обследовании;
- схемы инженерных коммуникаций, каталоги координат камер, колодцев и других подземных сооружений (при наличии дополнительных требований в задании).

Результаты съемки и обследования инженерных коммуникаций могут быть представлены в виде данных, полученных с регистрирующих устройств или других носителей информации.

ЛЕКЦИЯ № 6. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Характерной особенностью инженерно-геодезических изысканий линейных сооружений являются трассировочные работы. В зависимости от стадии проектирования выполняется [камеральное](#) и [полевое](#) трассирование.

Камеральное трассирование подразумевает проектирование трассы по топографическим планам, фотопланам или цифровым моделям местности.

При полевом трассировании трасса выбирается и разбивается непосредственно на местности.

Стадии проектирования линейных сооружений:

1. Техничко-экономическое обоснование (стадия проектной документации). На этой стадии осуществляется сбор и анализ имеющейся топографической и картографической информации, сбор сведений о наличии материалов по опорным геодезическим сетям для рассматриваемых вариантов размещения строительной площадки (направления трассы). Применяются карты и планы масштабов 1:100000 – 1:2000.

2. Стадия технического проекта. Обеспечивается получение топографо-геодезических материалов для разработки генплана объекта, доработки и детализации проектных решений, принятых на стадии предпроектной документации, и уточнение технико-экономических показателей. Применяют топографические планы масштабов 1:5000 – 1:500.

3. Стадия рабочих чертежей, или рабочей документации. На этой стадии выполняют развитие опорных и съемочных геодезических сетей, топографической съемки и обновление инженерно-топографических планов, геодезическое обеспечение других видов изысканий, составление и размножение топографических планов. Основной масштаб 1:500, также ис-

пользуется – 1:1000.

Трасса – это ось проектируемого линейного сооружения, которая обозначена на местности или нанесена на топографическую карту, фотоплан или же задана координатами в цифровой модели местности.

Основными элементами трассы является план и продольный профиль.

План трассы – это проекция трассы на горизонтальную плоскость.

Продольный профиль – вертикальный разрез по проектируемой линии.

Трасса представляет собой сплошную пространственную линию. В плане эта линия состоит из участков разного направления.

В продольном профиле трасса состоит из линий различного уклона, соединенных между собой вертикальными кривыми.

Продольный профиль представляют двумя графиками: фактическим (черным) и проектным (красным).

Продольный профиль имеет горизонтальный и вертикальный масштаб. Наиболее распространены горизонтальный масштаб 1:10000 – 1:25000, вертикальный масштаб – 1:1000 и крупнее.

Для характеристики местности и самого линейного сооружения в направлениях перпендикулярно к трассе составляются поперечные профили (в одинаковом вертикальном и горизонтальном масштабах).

В зависимости от топографических условий местности различают следующие *категории трассы*:

– долинная трасса прокладывается по надпойменной террасе долины реки. Она обычно имеет спокойный план и профиль, но пересекает большое число водотоков. Данная ка-

тегория трассы очень дорогостоящая и непрактична с точки зрения геологических условий;

- водораздельная трасса идет по наиболее высоким отметкам местности. Для этой трассы характерен сравнительно сложный характер трассы, благоприятные геологические условия. Именно эту трассу проектируют в равнинной и слабопересеченной местности;

- косогорная трасса располагается на склонах гор. Ее можно запроектировать с плавным уклоном (вся трасса располагается приблизительно на одной отметке). Но эта трасса будет очень извилистой в плане и придется проектировать большое количество мостовых переходов. Много затруднений возникает во время эксплуатации построенной дороги по такой трассе из-за обвалов, осыпей и селевых потоков;

- поперечно–водораздельная трасса проходит по косогору, то есть она пересекает долины и водоразделы. В плане данная трасса близка к прямой, а в продольном профиле часто имеет затяжные предельные уклоны. Данная трасса дорогостоящая из-за того, что нужно сооружать мостовые переходы.

На практике оптимальный вариант трассы, в зависимости от характера местности, сочетает в себе различные категории.

Трасса в зависимости от вида проектируемого сооружения должна удовлетворять *определенным требованиям*.

Для трасс задаются наибольшие и наименьшие продольные уклоны, минимальные радиусы горизонтальных и вертикальных кривых, а также задают габариты приближений – это отстояние линейных сооружений от земной поверхности.

При трассировании выделяют плановые и высотные параметры трассы. К плановым параметрам относятся: углы поворота, радиусы горизонтальных кривых, длины переходных кривых, прямые вставки.

К высотным параметрам относятся: продольные уклоны, длины элементов в профиле, радиусы вертикальных кривых.

Для самотечных трубопроводов и каналов наиболее важно выдержать высотные параметры (особенно уклоны).

Для напорных трубопроводов, линий электропередач и связи уклоны мало влияют на проект трассы. В этом случае трассу проектируют наиболее короткой, расположенной в благоприятных условиях, то есть важнее выдержать плановые показатели.

Дорожные трассы требуют соблюдения как плановых, так и высотных параметров. Такие трассы должны удачно вписываться в ландшафт местности, а также трассу желательно располагать на землях, не имеющих народно-хозяйственной ценности.

Проложение трассы в равнинных районах определяется контурными препятствиями, то есть ситуацией. При проектировании трассы стараются обходить контура и располагать вершины углов поворота приблизительно посередине контура или препятствия.

В высотном отношении трассу ведут вольным ходом, то есть проектную линию ведут по характерным точкам местности вдоль намеченного направления.

Основные правила трассирования в равнинных районах:

1. Трассу прокладывают по прямолинейным участкам от одного контура к другому, стремясь незначительно удлинить её и уклонять трассу от заданного направления (чем больше угол поворота, тем больше длина трассы).

2. Углы поворота стремятся иметь по возможности не более $30 - 45^\circ$, а оптимальные углы поворота $10 - 20^\circ$.

3. Длину прямой вставки рекомендуется оставлять не менее чем 200 метров, чтобы при необходимости осуществить разбивку переходных кривых.

4. В случае пересечения трассой водных препятствий и оврагов, ее проектируют приблизительно перпендикулярно к препятствию, а примыкание к существующим автомобильным и железнодорожным магистралям можно осуществить под любым углом, но к прямому участку магистрали.

Положение трассы в *горных районах* определяется высотными препятствиями, то есть рельефом. Так как уклоны в горной местности значительно превосходят допустимые значения, трассирование ведут «напряженным» ходом – это значит, что каждая линия задается предельным уклоном.

Чтобы выдержать этот уклон, требуется удлинять трассу, отклоняя ее на небольшие углы от заданного направления.

В плане горная трасса имеет сложнейшую конфигурацию, много углов поворота и короткие прямолинейные участки между ними.

В процессе изысканий решаются следующие задачи:

а) выбор оптимального варианта трассы (благоприятные условия для проектирования, строительства и эксплуатации; обоснованность расходов).

б) сбор необходимых топографо-геодезических, инженерно-геологических, гидрологических и других данных для конечного составления проекта трассы.

Состав работ при камеральном трассировании следующий:

1. Проложение трассы по карте.
2. Измерение углов поворота и подбор радиусов кривых.
3. Вычисление основных элементов кривых.
4. Вычисление пикетажных значений главных точек кривых и разбивка пикетажа.

5. Составление ведомости углов поворота, прямых и кривых.

6. Составление плана и профилей трассы (продольного и поперечного).

Камеральное трассирование линейных сооружений можно выполнить способом попыток или способом построения линии заданного уклона.

Способ попыток применяется только в равнинной местности и заключается в следующем. Между фиксированными точками намечают по карте кратчайшую трассу и составляют по ней продольный профиль местности. Затем по продольному профилю выявляют участки, в которых целесообразно сдвинуть трассу влево или вправо, чтобы отметки местности ближе подходили к проектным отметкам. Измененные участки вновь трассируют и составляют новый улучшенный профиль.

Способ построения линии заданного уклона предполагает построение на топографической карте линии нулевых работ. Линия строится следующим образом: из начальной точки трассы, придерживаясь заданного направления, раствором циркуля, равным заложению, засекают ближайшую горизонталь. Из полученной точки засекают соседнюю горизонталь тем же раствором, и так далее. При пересечении оврагов или рек вниз к тальвегу не спускаются, а переходят на другую сторону, стараются пересекать препятствия приблизительно перпендикулярно направлению реки или оврагу.

В местах, где расстояние между горизонталями больше принятого заложения, точки выбирают произвольно.

Заложение необходимо для построения линии равных уклонов. Данная линия представляет собой ломаную, и называют ее линией «нулевых работ», так как именно по этой линии для соблюдения проектного уклона не надо будет делать ни выемок, ни насыпей.

На карте в заданном направлении можно построить несколько вариантов линии «нулевых работ». Она очень извилистая, и поэтому производят ее спрямление. После спрямления на углах поворота разбивают круговые, переходные вертикальные кривые, а также пикетаж по трассе.

На топографической карте можно запроектировать несколько вариантов трасс, из которых затем выбирают окончательный вариант.

По горизонталям определяют отметки пикетов и характерных точек и составляют продольный профиль трассы. На продольном профиле проектируют проектную «красную» линию, выполняют расчеты уклонов по каждому участку «красной» линии, вычисляют проектные отметки по бровке земляного полотна, расстояния до точек «нулевых работ» и их отметки.

Затем выполняется подсчет объема земляных работ; в тех местах, где получаются большие объемы земляных работ, трассу несколько смещают и перепроектируют данный участок.

Автоматизировать трассировочные работы позволяет программный комплекс CREDO, в котором на основе цифровой модели местности проектируют трассу линейного сооружения; осуществляют поиск оптимального варианта трассы; построение профилей и т. д.

Полевое трассирование ведут на стадии рабочего проектирования для поиска местных улучшений трассы, ее окончательного перенесения и закрепления на местности.

Основой служат материалы камерального трассирования. Проект трассы, разработанный в камеральных условиях, выносят в натуру (на местность) по данным привязок углов поворота к пунктам геодезической основы или ближайшим контурам местности. Предпочтение отдают выносу точек

трассы от пунктов геодезической основы как более надежно-му и точному.

Полевое трассирование включает в себя следующие виды работ:

1. Вынесение проекта трассы в натуру. Вешение линий.
2. Определение углов поворота.
3. Линейные измерения и разбивка пикетажа с ведением пикетажного журнала.
4. Разбивка кривых (круговых, переходных, вертикальных).
5. Нивелирование трассы.
6. Закрепление трассы.
7. Привязка трассы к пунктам геодезической основы.
8. Съёмочные работы.
9. Обработка полевого материала. Составление плана трассы, продольного и поперечных профилей.

Вынесение проекта трассы в натуру. Вешение линий.

Проект трассы, разработанный в камеральных условиях, выносят в натуру (на местность) по данным привязок углов поворота к пунктам геодезической основы или ближайшим контурам местности. Предпочтение отдают выносу точек трассы от пунктов геодезической основы как более надежно-му и точному.

В поле начинают с нахождения необходимых геодезических или контурных точек, от которых производят соответствующие угловые и линейные построения для определения положения исходных точек трассы, в том числе и начальной. На точках трассы, найденных на местности, устанавливают вехи и обследуют намеченные направления, в частности, переходы через водотоки и овраги, пересечения существующих магистралей и другие сложные места. Иногда приходится несколько смещать провешенную линию и передвигать вершины углов поворота, чтобы удобнее разместить элементы плана

и профиля трассы и обеспечить минимальный объем строительных работ.

Окончательное положение углов поворота закрепляют на местности деревянными или железобетонными столбами и составляют абрис привязки этих точек к местным предметам.

Могут возникнуть случаи, когда между углами поворота нет видимости, тогда направление трассы определяется одним из способов:

а) если вблизи трассы имеется исходный геодезический пункт, то трассу задают от направления с вершины угла поворота на этот пункт;

б) в вершине угла поворота определяют азимут направления на хорошо видимый земной предмет и от этого направления задают трассу по ее дирекционному углу.

в) направление трассы может задаваться по магнитному азимуту.

Определение углов поворота.

При трассировании измеряют правые по ходу углы одним приемом с точностью $0,5'$, то есть теодолитом типа Т30.

Угол поворота θ образуется продолжением предыдущего и нового направлений трассы.

В зависимости от положения угла относительно продолжения предыдущего направления трассы различают угол поворота вправо $\theta_{\text{пр}}$ (рис. 21, а) и угол поворота влево $\theta_{\text{лев}}$ (рис. 21, б). Для контроля угловых измерений одновременно определяют по буссоли магнитные азимуты сторон трассы.

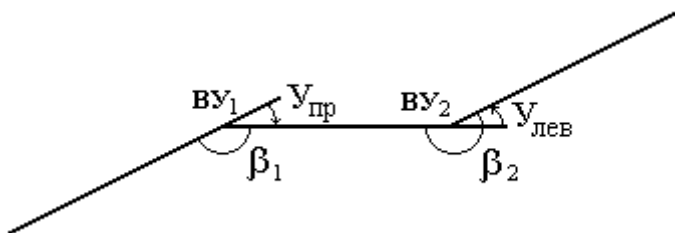


Рис. 21 Угол поворота трассы

Формулы для определения углов поворота

$$\theta_{\text{пр}} = 180 - \beta \quad (25)$$

$$\theta_{\text{лев}} = \beta - 180 \quad (26)$$

Для контроля угловых измерений одновременно по буссоли измеряют прямые и обратные магнитные азимуты сторон трассы. На длинных прямых участках в пределах непосредственной видимости через 500...800 м устанавливают створные точки (дополнительные углы), которые задают отложением угла 180° при двух кругах теодолита. Угол хода на створной точке также измеряют одним приемом. Он не должен отличаться от 180° более чем на $1'$. В противном случае створную точку перемещают на местности.

Линейные измерения.

При трассировании выполняется два вида линейных измерений:

1) измерение расстояний вместе с углами, по результатам измерений которых вычисляются координаты углов поворота. Если углы наклона по трассе $> 2^\circ$, то необходимо измерять вертикальные углы и вводить поправки за наклон в измеренное расстояние (знак поправки «—»).

Расстояния измеряют с точностью $1 / 1000 - 1 / 2000$ в зависимости от условий местности с помощью светодально-

меров, мерными приборами (рулеткой и т. п.) или по дальномерным нитям теодолита.

2) измерение расстояний с целью разбивки пикетажа, элементов кривых, профилей, а также для промеров до точек ситуации, расположенных вблизи трассы.

По результатам измерений углов и линий и данным плановой привязки трассы к пунктам геодезической основы вычисляют координаты вершин углов поворота.

При полевом трассировании разбивают пикетаж трассы. Начальная точка трассы служит нулевым пикетом. Ее фиксируют, как все пикеты и плюсовые точки, с помощью кола диаметром 30 мм, длиной 150 мм, который забивают почти вровень с землей. Рядом с колом на расстоянии 200 мм по направлению хода забивают сторожок - кол длиной 300...500 мм. На сторожке пишут номер пикета так, чтобы надпись была обращена назад по ходу к точке пикета. Пикет окапывают канавкой. Для разбивки пикетажа каждую линию трассы провешивают с помощью теодолита. Разбивку пикетажа ведут с применением стальной ленты или рулетки. Пикеты разбивают через 20, 25, 50 или 100 м в зависимости от застроенности местности.

Кроме целых пикетов, по трассе разбивают характерные или плюсовые точки. К характерным точкам можно отнести рельефные точки – характерные перегибы рельефа (определяются с точностью до 1 м), и контурные точки – это точки пересечения трассой сооружений, водотоков, границ угодий (определяются с точностью до 1 см).

В процессе разбивки пикетажа вводят поправки за наклон местности, но со знаком «+».

Вместо введения поправки за наклон при разбивке пикетажа можно применять ватерпасовку, которая выполняется следующим образом: измерительный прибор укладывается примерно горизонтально, а приподнятый конец мерного прибора проецируется на землю с помощью нитяного отвеса.

Мерный прибор следует поддерживать в середине, чтобы избежать провисания.

Первоначально пикеты на трассу наносят камерально, и тогда, в случае необходимости для уточнения их местоположения, можно произвести разбивку пикетов от ближайших характерных точек.

Разбивка пикетажа производится дважды: первый раз – при вынесении местность кривых и разбивке пикетажа, и второй раз – в строительный период при восстановлении трассы.

Разбивка кривых (круговых, переходных, вертикальных). Прямые участки дороги в углах поворота сопрягаются плавными *круговыми кривыми* радиуса R , а при необходимости более плавных сопряжений между ними используют переходные кривые.

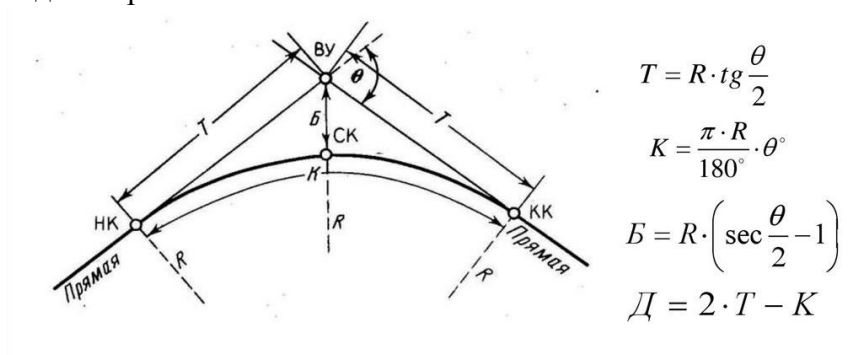


Рис. 22. Основные элементы круговой кривой

Основными элементами *круговой кривой* являются:

- тангенс **Т** – это часть касательной от вершины угла до начала или до конца кривой;
- кривая (длина кривой) **К** - расстояние по кривой от НК до КК через СК;
- биссектриса **Б** - часть биссектрисы угла от вершины до середины кривой;
- домер **Д** - это величина, на которую кривая короче, чем

два тангенса.

Вычисление *пикетажных значений главных точек кривых* начинают с вычисления пикетажа вершин углов поворота (ПК ВУ):

$$ПКВУ1 = \frac{S_{A1}}{100} = \frac{421,65}{100} = ПК4 + 21,6; \quad (27)$$

$$ПКВУ2 = \frac{S_{A1} + S_{12} - D_1}{100} \text{ и т.д.}$$

Затем вычисляют пикетажные значения начала, середины и конца кривой.

Основные формулы:

$$ПК НК = ПК ВУ - T \quad (28)$$

$$ПК СК = ПК НК + \frac{1}{2} K \quad (29)$$

$$ПК КК = ПК НК + K \quad (30)$$

Контрольные формулы:

$$ПК СК = ПК КК + \frac{1}{2} K \quad (31)$$

$$ПК КК = ПК ВУ + T - D \quad (32)$$

Начало кривой на местности можно найти либо путем отложения от ближайшего закрепленного пикета расстояния, вычисленного по пикетажу, либо путем отложения от ВУ в обратном направлении величины тангенса T .

Середину кривой находят на местности, откладывая расстояние, равное биссектрисе B по направлению половины угла хода.

При разбивке на местности конца круговой кривой от вершины угла в сторону продолжения трассы откладывают величину домера D и, считая, что конец домера имеет пикетажное значение вершины угла, продолжают дальнейшую разбивку целых пикетов. В этом случае местоположение конца круговой кривой (КК) определяют от ближайшего пикета или отложив от вершины угла по направлению трассы величину тангенса T . При разбивке пикетажа мерной лентой должна быть обеспечена предельная относительная ошибка измерений:- для равнинной местности - 1:1000,- для горной местности - 1:500 .

Для более полной характеристики местности разбивают поперечные профили в обе стороны от трассы на расстоянии 15 - 30 метров и более.

Поперечные профили разбивают на таком расстоянии друг от друга, чтобы местность между ними имела однообразный уклон. Если уклон более чем $0,2(200\%) \approx 11^\circ$, то в этом случае продольные профили разбивают на всех пикетажных и всех плюсовых точках.

В процессе камерального трассирования после измерений углов поворота и длин линий с разбивкой пикетажа по трассе автомобильной дороги составляют *ведомость углов поворота, прямых и кривых*. Форма ведомости приведена в таблице 8.

Ведомость углов поворота, прямых и кривых

Таблица 8

№ точ- ки	Углы поворота		Основные элементы кру- говых кривых, м					Пике- тажные значе- ния		Расст между вершS,м	Прям. встав- ка П,м
	Пике- таж ВУ	θ	R	T	K	Б	Д	НК	КК		
А 1 N В											
Σ				ΣT	ΣK		ΣD			ΣS	$\Sigma П$

Прямая вставка П равна разности пикетажа между началом последующей и концом предыдущей кривой.

В конце работы подсчитывают необходимые суммы и выполняют контроль вычислений, используя формулы:

$$2\Sigma T - \Sigma K = \Sigma D \quad (33)$$

$$L_{mp} = \Sigma П + \Sigma K = \Sigma S - \Sigma D \quad (34)$$

При вынесении на местность круговых кривых необходимо всю длину кривой разбить на равные отрезки такой длины, чтобы можно было принять дугу за кривую. Чем больше радиус R круговой кривой, тем больше интервал разбивки. При $R \geq 500$ интервал разбивки $\kappa = 20$ м, при $100 < R < 500$ - 10 м, при $R < 100$ м - 5 м.

Существует ряд способов детальной разбивки кривых. Наиболее распространенными из них являются способ прямоугольных координат, углов (или полярных координат), про-

долженных хорд, хорд (секущих), вписанного многоугольника. Точность детальной разбивки кривых зависит от точности выполнения элементарных разбивочных операций, таких, как построение проектных углов и расстояний.

Способ прямоугольных координат (рис. 23). В этом способе положение точек 1, 2, 3, на кривой через равные промежутки k определяется прямоугольными координатами $x_1, y_1, x_2, y_2, \dots$, при этом за ось абсцисс принимают линию тангенса, а за начало координат - начало (НК) и конец кривой (КК).

Основные формулы:

$$X_1 = R \sin \Theta \quad (35)$$

$$Y_1 = R (1 - \cos \Theta) = 2 \sin^2 \frac{\Theta}{2} \quad (36)$$

$$\text{где угол } \Theta = \frac{180 k}{\pi R} \quad (37)$$

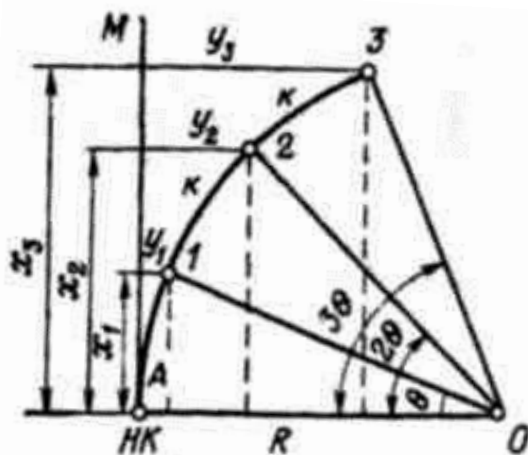


Рис. 23. Схема разбивки кривой способом прямоугольных координат.

Кривая строится по тангенсу в сторону вершины угла откладывается соответствующая вычисленная абсцисса x . В конце отложенного расстояния строится угол, равный 90° , и по полученному направлению откладывается ордината y . В данном способе разбивка ведется и от начала и конца кривой к середине, что повышает точность разбивки.

Способ прямоугольных координат применяется при выносе пикетов на кривую, при выполнении съемочных и разбивочных работ.

Достоинство способа заключается в том, что каждая точка кривой определяется независимыми промерами и при переходе от одной определяемой точки к другой погрешности не накапливаются.

Способ углов. В этом способе (рис. 24) используется математическое положение, что углы с вершиной в какой-либо точке круговой кривой, образованные касательной и секущей и заключающие одинаковые дуги, равны половине соответствующего угла.

Основная формула:

$$\sin \frac{\theta}{2} = \frac{b}{2R} \quad (38)$$

где b - длина хорда.

Разбивку кривой осуществляют следующим образом. В начале кривой устанавливают теодолит и от линии тангенса задают угол, $\frac{\theta}{2}$ равный расстоянию b , откладывая вдоль полученного направления длину хорды, равную шагу разбивки (5, 10, 20 м). Найденную точку закрепляют. От того же направления теодолитом строят второй угол равный θ . От точки B откладывают следующую длину хорды b так, чтобы ее конец лежал в коллимационной плоскости теодолита, фиксируя на местности точку C кривой и т. д.

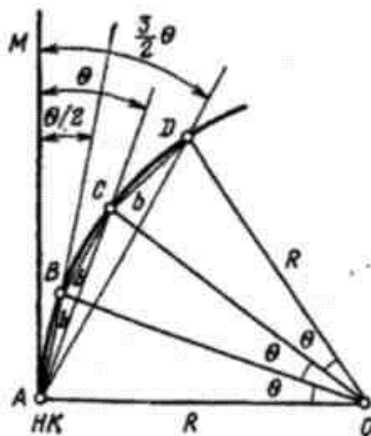


Рис. 24. Схема разбивки кривой способом углов

Недостаток способа заключается в том, что каждая последующая точка определяется относительно предыдущей и с возрастанием длины кривой точность детальной разбивки быстро падает.

Способ продолженных хорд. Разбивку кривой этим способом (рис. 25.) ведут без теодолита. В основу положен способ линейных засечек. По радиусу R и принятой длине хорды находят отрезки d и y , называемые промежуточным и крайним перемещением.

Разбивку кривой этим способом ведут без теодолита. В основу положен способ линейных засечек. По радиусу R и принятой длине хорды находят отрезки d и y , называемые промежуточным и крайним перемещением.

Положение первой разбивочной точки B можно определить способом прямоугольных координат или с отрезка тангенса $AN = b$ линейной засечкой радиусами-векторами $AB = b$ и $NB = y$. Закрепив точку B , на продолжении створа AB откладывают длину хорды b и отрезками $C'C = d$ и $BC = b$ засекают на кривой точку C и т. д.

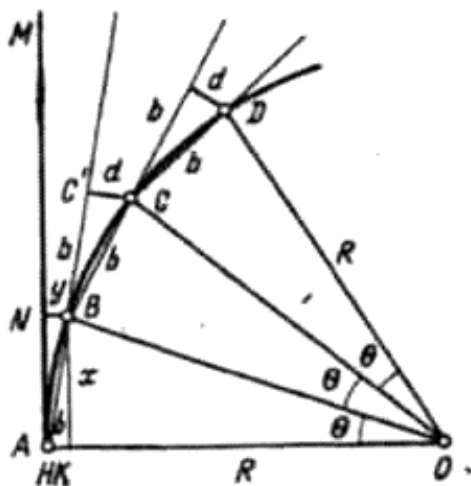


Рис. 25. Схема разбивки кривой способом продолженных хорд

Основные формулы:

$$y = b^2 / 2R; \quad (39)$$

$$d = 2y = b^2 / R, \quad (40)$$

где b - длина хорды.

Точность данного способа невысока, его используют при разбивке коротких кривых. Недостаток способа тот же, что и у предыдущего. Применяется этот способ в стесненных условиях (в насыпи, выемке, в шахте) при невысокой точности разбивки.

Способ хорд (секущих). В этом способе (рис. 26) точки кривой разбивают от хорды по прямоугольным координатам. Длину хорды выбирают большой (100 м и более), но с учетом, чтобы максимальная длина ординаты не превышала 2 - 3 м. В этом случае точность способа высока. Направление первой

хорды задают теодолитом из начальной точки кривой под углом к тангенсу, равным $\frac{\varphi}{2}$.

Основная формула:

$$\sin \frac{\varphi}{2} = b / 2R, \quad (41)$$

где b – длина хода.

Разбиваемые точки получают на местности отложением расстояний x по хорде, а расстояний y по перпендикулярам к хорде. Абсциссы принимают равными: $x_1 = 20$ м, $x_2 = 40$ м и далее 60, 80, 100 м.

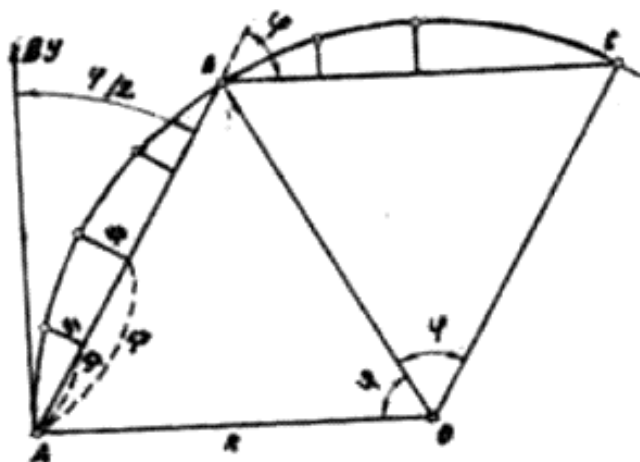


Рис.26. Схема разбивки кривой способом хорд

Теодолит переносят в точку B , и от направления AB откладывают угол φ , задавая направление второй хорды, от которой разбивают новый участок кривой.

Наряду со способом прямоугольных координат способ хорд является наиболее точным и применяется в стесненных условиях (в тоннелях, на дамбах и т. д.).

Способ вписанного многоугольника.(рис. 27) Точки на кривой через равные промежутки определяются путем последовательного отложения хорды l и угла между соседними хордами β_2 .

Местоположение точки 1 на кривой определяют способом прямоугольных координат или углов. В ней устанавливают теодолит и строят угол, равный β_2 . Вдоль направления HK -1 откладывают хорду l , определяя на кривой точку 2, в которую переносят теодолит.

В точке 2 производят такие же построения. В данном способе часть точек разбивают от начала кривой, остальные от конца, что позволяет повысить точность.

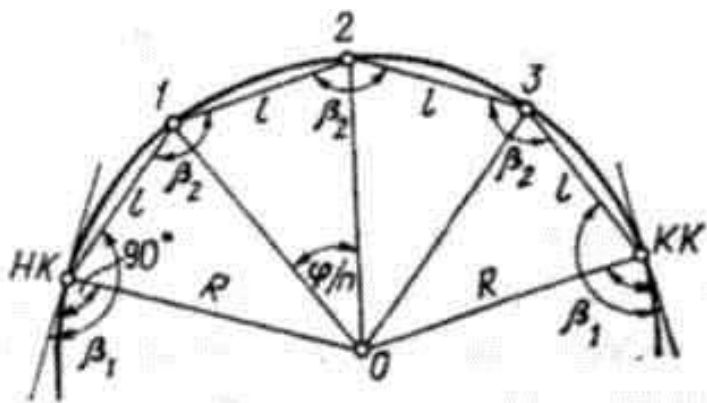


Рис. 27. Схема разбивки кривой вписанного многоугольника

Основные формулы:

$$l = 2R \cdot \sin \frac{\varphi}{2}, \quad (42)$$

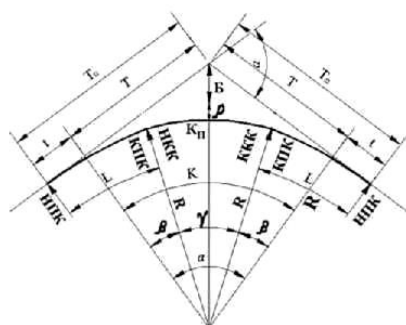
(43)

$$\beta_2 = 180^\circ - \varphi, \quad (44)$$

$$\text{где } \sin \frac{\varphi}{2} = k/2R.$$

Благодаря высокой точности линейных и угловых измерений способ разбивки кривых используется в тоннелестроении, а также для выноса в натуру осей сооружений, имеющих в сечении окружность или многоугольник.

Переходная кривая — кривая переменной кривизны, сопрягающая круговую кривую с прямым участком. Переходная кривая (рис. 28) обеспечивает постепенное изменение центробежной силы при входе транспорта в криволинейный участок пути. Переменный радиус переходной кривой ρ плавно изменяется от $\rho = \infty$ в точках НК и КК сопряжения с прямой до $\rho = R$ в точках КПК₁ и КПК₂ сопряжения переходной кривой с кривой радиуса R . Разбивка переходной кривой производится по радиоидальной спирали, кривизна которой изменяется пропорционально её длине.



Переходные кривые учитывают путем введения добавочных значений t по линии тангенсов и по линии биссектрисы p .

$$\begin{aligned} T_{\text{полн}} &= T + t, \\ K_{\text{полн}} &= K + L, \\ B_{\text{полн}} &= B + p, \\ D_{\text{полн}} &= 2T_{\text{полн}} - K_{\text{полн}}, \\ K_0 &= K_{\text{полн}} - 2L. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t &= L - R \sin \beta_L, \\ p &= \frac{L^2}{24R} - \frac{L^4}{2688R^3}, \quad \beta_L = \frac{180^\circ L}{2\pi R}. \end{aligned}$$

Переходные кривые учитывают путем введения добавочных значений t по линии тангенсов и по линии биссектрисы p .

Рис. 28. Переходная кривая

Длина переходной кривой при проектировании железной дороги принимается в соответствии со Строительными нормами и правилами в зависимости от радиуса круговой

кривой и скоростей движения поездов. При проектировании реконструкции существующих железных дорог и строительства вторых путей часто возникает необходимость удлинения переходной кривой.

Устройство переходных кривых предусматривает в плане при радиусах в плане 2000 м и менее, а подъездных дорогах всех категорий 400 м и менее.

Переходная кривая используется для устройства:

- отвода возвышения наружной рельсовой нити;
- отвода уширения ширины колеи;
- отвода уширения междупутного расстояния.

Для обеспечения безопасности движения в выпуклые переломы продольного профиля вписывают *вертикальные кривые* (рис. 29), снижающие высотные отметки переломных точек. При таком методе проектирования достигается также плавность движения автомобиля и смягчение толчков, вызываемых ударом колес при резком изменении положения продольной оси автомобиля; поэтому вертикальные кривые вписывают и в вогнутые переломы профиля, хотя видимость дороги в данном случае обеспечена.

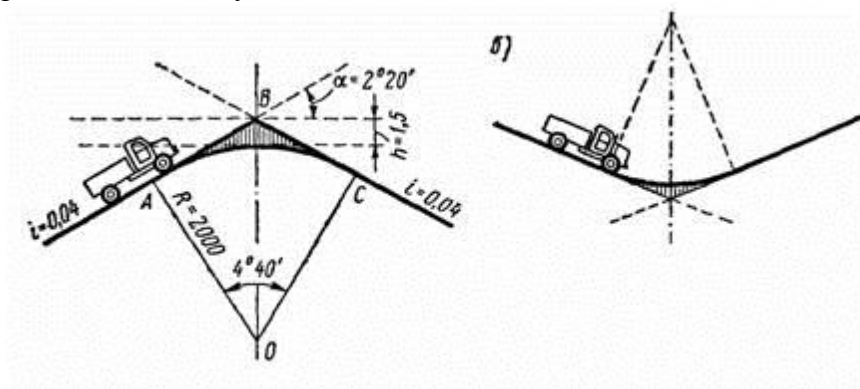


Рис. 29. Вертикальная кривая

Для проектирования вертикальных кривых на продольном профиле рекомендуется применять возможно большие радиусы. Чтобы избежать излишних земляных работ, радиус вертикальных кривых следует увязывать с очертанием элементов рельефа местности земли.

Определение высотных отметок пикетов и плюсовых точек в пределах вертикальной кривой может быть выполнено по значениям координат x и y , взятых применительно к положению касательных (тангенсов), от конечных точек кривой. При этом вычисленные ранее (по уклонам проектной линии) рабочие отметки заключаются в скобки, а рядом с ними на продольном профиле надписываются истинные рабочие отметки с учетом поправки y . Такой способ проектирования вертикальных кривых удобен в условиях равнинного и слабо пересеченного рельефа.

В процессе разбивки пикетажа ведут журнал (рис. 30), в котором показывают все основные элементы трассы, пункты геодезической основы, ситуацию, отдельные элементы рельефа в полосе шириной по 50... 100 м с каждой стороны от оси будущей дороги.

Все данные в последующем помещают в соответствующих графах продольного профиля. Пикетажный журнал состоит из сшитых листов клетчатой бумаги.

Ось трассы показывают в виде прямой линии, расположенной в центре страницы. На прямую линию в масштабе (обычно одна клетка равна 20 м) наносят все пикетные и плюсовые точки, углы поворота, поперечные профили и т.д.

Запись в журнале ведут снизу вверх, чтобы правая и левая стороны страницы соответствовали правой и левой сторонам трассы по ходу пикетажа.

Углы поворота обозначают стрелками, направленными вправо и влево от средней осевой линии в зависимости от того, в какую сторону поворачивает трасса. Около углов пово-

рота выписывают пришлые основные элементы кривых: угол поворота с указанием правый или левый, радиус, тангенс, кривую, биссектрису, домер; здесь же подсчитывают пикетажные значения начала и конца кривой.

Эта же информация может быть записана в электронном журнале или блокнотном компьютере.

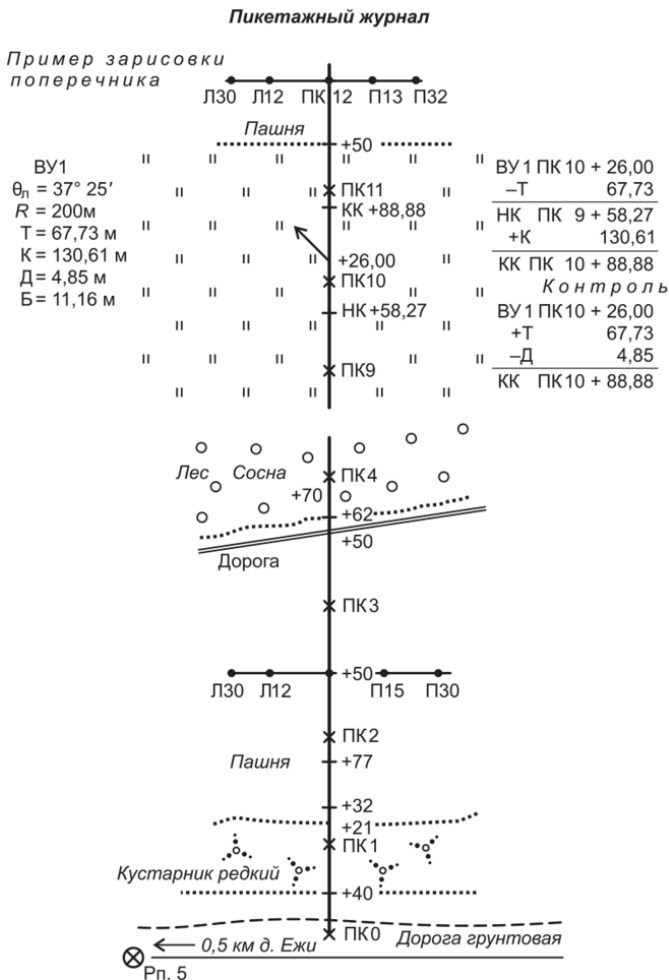


Рис. 30. Пикетажный журнал

Разбивку пикетажа ведут по той же линии, по которой выполняют непосредственный промер между вершинами углов при проложении теодолитного хода, что позволяет контролировать линейные измерения. Контрольное расстояние L_k между смежными вершинами угла должно быть равно разности их пикетажных значений плюс домер на задней вершине:

$$L_k = PK_{n+1} - PK_n + D_n(45)$$

Разность непосредственно измеренной линии и полученной по приведенной выше формуле в относительной мере не должна превышать 1/1000 - в благоприятных условиях измерений, 1/500 - в неблагоприятных условиях.

Разбивка пикетажа через 100 м затрудняет использование дальномеров, поэтому иногда *применяют беспикетный способ полевого трассирования*, при котором на местности разбивают не каждый стометровый пикет, а только точки, расположенные на характерных формах рельефа и важных для проектирования элементах ситуации.

Для составления продольного и поперечного профилей трассы и определения отметок реперов, устанавливаемых вдоль трассы, производят техническое нивелирование с использованием, как правило, двух нивелиров.

Первым прибором нивелируют все связующие точки (пикеты, плюсовые точки, реперы), вторым - все промежуточные точки (некоторые плюсовые точки, поперечные профили, геологические выработки на трассе). Километровые пикеты и реперы как связующие точки обязательно нивелируют обоими нивелирами, что позволяет надежно контролировать превышения в ходе.

Нивелирование по ходу обычно ведут методом из середины, устанавливая равенство плеч «на глаз». Расстояние до связующих точек принимают равным 100... 150 м.

Если нивелирование по трассе производят одним нивелиром, превышения между связующими и всеми пикетными точками определяют по черной и красной сторонам реек, а при работе с односторонними рейками - при двух горизонтах нивелира. Рейки применяют шашечные, трехметровые, двусторонние; в пересеченной местности удобны четырехметровые складные рейки. При передаче высот через водные препятствия наблюдения выполняют или по специальной программе, или пользуются уровнем воды, полагая, что у взаимно противоположных берегов он имеет одинаковые отметки. Полевой контроль нивелирования производят на станции и в ходе между реперами с известными отметками. Расхождения между превышениями, полученными на станции из наблюдений двумя нивелирами или по двум сторонам реек, не должны превышать 7... 10 мм.

На трассе дороги могут быть расположены различные сооружения: участковые станции, разъезды, мастерские, станции обслуживания, заправочные колонки, сооружения (мосты, трубы), поселки, водоотводящие устройства и др. Для проектирования этих объектов необходимо иметь крупномасштабные планы соответствующих участков местности.

Съемка таких участков ведется в масштабах 1:2000... 1:500 тахеометрическим способом с опорой на точки трассы. Для съемки больших площадок создают планово-высотное обоснование в виде теодолитных и нивелирных полигонов. Съемку узкой полосы вдоль трассы ведут по поперечным профилям, разбиваемым на пикетах и плюсовых точках трассы.

По окончании полевых работ материалы трассирования обрабатывают: проверяют полевые журналы, уравнивают нивелирные и теодолитные ходы, вычисляют отметки и координаты точек трассы, составляют планы, продольный и поперечные профили участков дороги.

Продольный профиль (рис. 31) разбитой на местности трассы - основной документ, полученный в результате изысканий. Им постоянно пользуются при проектировании и строительстве железных и автомобильных дорог, а также в процессе эксплуатации. Профиль составляют в масштабах: горизонтальном - 1:5000 для автомобильной дороги и 1:10000 для железной дороги; вертикальном (обычно в 10 раз крупнее) соответственно 1:500 и 1:1000.

На продольный профиль в соответствующие графы вписывают все данные, необходимые для проектирования дороги.

В графе «Ситуация» показывают контурную часть плана в полосе шириной по 100 м с каждой стороны от оси трассы. Углы поворота в этой графе отмечают стрелкой, а ось трассы вычерчивают красным цветом.

При заполнении графы «План линии» проставляют длины и истинные румбы прямых участков; на кривых показывают их основные элементы. Кривую вычерчивают вниз, если трасса поворачивает влево, и вверх, если трасса поворачивает вправо.

В графу «Отметки земли» выписывают фактические отметки пикетов и плюсовых точек, определенные в процессе нивелирования по трассе.

На продольном профиле отмечают также номера пикетов, расстояния между ними и километраж по трассе.

Проектные данные показывают в соответствующих графах красным цветом. «План линии» также вычерчивают красным цветом.

По отметкам земли и пикетажу строят фактический профиль. При этом начало масштаба высот выбирают так, чтобы самая низшая точка фактического профиля не доходила до первой графы на 20...30 мм.

Красную (проектную) линию профиля проектируют в соответствии с техническими условиями на данный вид и категорию дороги. Кроме того, при проектировании выполняют следующие правила: проектные уклоны задают с точностью до 0,001; проектные отметки относят к бровке земляного полотна; алгебраическая разность уклонов на двух соседних участках проектной линии не должна превышать заданного предельного уклона; на участках плановых кривых предельно допустимый уклон должен быть смягчен, уменьшен для железных дорог на $700/R$, где R - радиус кривой, для автомобильных дорог - от 10 до 50 %; объем насыпей и выемок должен быть минимальным.

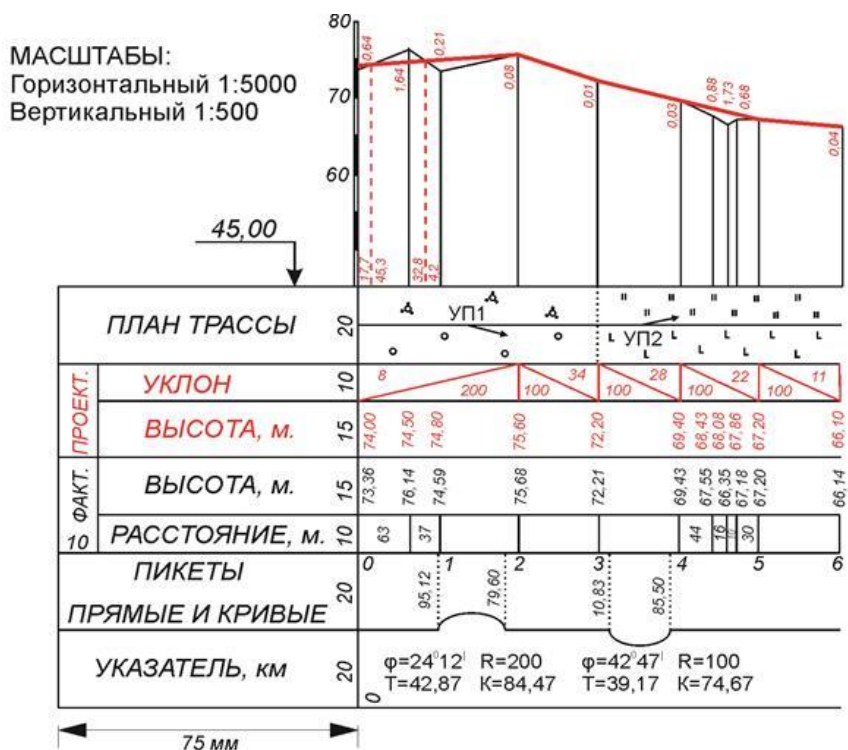


Рис. 31. Продольный профиль

Проектирование начинают от мест с заданными отметками, например, от начальной точки трассы, мостового перехода через водное препятствие. Далее приближенно намечают первый участок проектной линии. По разности отметки земли в конце первого участка и начальной проектной отметки, а также расстояния между этими отметками подсчитывают уклон. Если он окажется допустимым, его округляют до 0,001 и записывают в соответствующую графу профиля, указывая одновременно расстояния. Знаком уклон не сопровождают, его заменяет соответствующая диагональная линия в графе уклонов. По принятому значению уклона и расстоянию вычисляют превышение и, прибавив его с соответствующим знаком к первой проектной отметке, находят отметку конца первого участка красной линии. Дальнейшее проектирование выполняют подобным образом.

Разность проектной и фактической отметок данной точки профиля называется *рабочей отметкой*. Положительная рабочая отметка показывает высоту насыпи, отрицательная - глубину выемки. Рабочие отметки намечают на самом профиле.

Точку пересечения проектной линии с линией профиля называют *точкой нулевых работ*; рабочая отметка этой точки равна нулю. Точки нулевых работ иногда отмечают на профиле трассы, так как они указывают начало насыпи или выемки. В ходе проектирования, чтобы обеспечить размещение вертикальных кривых, выдерживают шаг проектирования - минимально допустимое расстояние между переломами проектной линии.

На профиле дорог проектируют также водоотводные каналы (кюветы), указывая при необходимости в соответствующих графах продольного профиля их проектные уклоны, расстояния и отметки на пикетах.

ЛЕКЦИЯ № 7. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ ОСНОВНЫХ ВИДОВ СООРУ- ЖЕНИЙ

Геодезические работы при изысканиях гидротехнических сооружений. Гидротехническое сооружение – это инженерное или естественное сооружение для использования водных ресурсов или для борьбы с разрушительным действием воды.

Гидротехнические сооружения бывают общие и специальные. *Общие* применяются почти при всех видах использования вод: водоподпорные, водопроводящие, регуляционные, водозаборные и водосбросные. Водоподпорные гидротехнические сооружения создают напор или разность уровней воды перед сооружением и за ним. К ним относятся: плотины и дамбы (или валы).

Плотины — важнейший и наиболее распространенный тип гидротехнических сооружений. Они перегораживают речные русла и создают разницу уровней по руслу реки. Перед плотиной вверх по водотоку накапливается вода и образуется искусственное или естественное водохранилище. Участок реки между двумя соседними плотинами на реке или участок канала между двумя шлюзами называется бьефом. Верхним бьефом плотины является часть реки выше подпорного сооружения, а часть реки ниже подпорного сооружения называется нижним бьефом.

Водоохранилища могут быть долговременными или кратковременными. Долговременным искусственным водохранилищем является, например, водохранилище верхнего бьефа плотины гидроэлектростанции, оросительной системы. Долговременное естественное водохранилище может образоваться в результате перекрытия реки после такого чрезвычайного происшествия, как обвал твердых скальных пород. Кратковременные искусственные плотины создаются для времен-

ного изменения направления течения реки при строительстве ГЭС или другие гидротехнические сооружения. Кратковременные естественные плотины возникают в результате перекрытия реки рыхлым грунтом, снегом или льдом.

Дамбы отгораживают прибрежную территорию и предотвращают ее затопление при паводках и половодье на реках, при приливах и штормах на морях и озерах.

Водопроводящие гидротехнические сооружения (водоводы) служат для переброски воды в заданные пункты: каналы, гидротехнические туннели, лотки, трубопроводы. Некоторые из них, например, каналы, из-за природных условий их расположения, необходимости пересечения путей сообщения и обеспечения безопасности эксплуатации требуют устройства др. гидротехнических сооружений, объединяемых в особую группу сооружений на каналах (акведуки, дюкеры, мосты, паромные переправы, ворота, водосбросы, шугосбросы и др.).

Регуляционные (выправительные) гидротехнические сооружения предназначены для изменения и улучшения естественных условий протекания водотоков и защиты русел и берегов рек от размывов, отложения наносов, воздействия льда и др. При регулировании рек используют запруды, струенаправляющие устройства (полузапруды, щиты, дамбы, ограждающие валы, траверсы, донные пороги и др.), берегоукрепительные сооружения, ледонаправляющие и ледозадерживающие сооружения.

Водозаборные (водоприемные) гидротехнические сооружения устраивают для забора воды из водоисточника и направления ее в водовод. Кроме обеспечения бесперебойного снабжения потребителей водой в нужном количестве и в требуемое время, они защищают водопроводящие сооружения от попадания льда, шуги, наносов и др.

Водосбросные гидротехнические сооружения служат для пропуска излишков воды из водохранилищ, каналов,

напорных бассейнов и пр. Они могут быть русловыми и береговыми, поверхностными и глубинными, позволяющими частично или полностью опорожнять водоемы. Для регулирования количества выпускаемой (сбрасываемой) воды водосбросные сооружения снабжают гидротехническими затворами. При небольших сбросах воды применяют также водосбросы-автоматы, автоматически включающиеся при подъеме уровня верхнего бьефа выше заданного. К ним относятся открытые водосливы (без затворов), водосбросы с автоматическими затворами, сифонные водосбросы.

Специальное гидротехническое сооружение возводится для какой-либо одной отрасли водного хозяйства.

- водного транспорта: судоходный шлюз, судоподъемник, причал, плотоход, лесоспуск (бревноспуск), маяк и др. сооружения по обстановке судового хода, различные портовые сооружения (молы, волноломы, пирсы, причалы, доки, эллинги, слипы и др.).

- гидроэнергетики: здание ГЭС, напорный бассейн и др.

- гидромелиорации: оросительный или осушительный (магистральный или распределительный) канал, дренаж, шлюз-регулятор на оросительной и осушительной системе, коллектор и др.

- водоснабжения и канализации: насосная станция, водонапорная башня и резервуар, пруд-охладитель и др.

- рыбного хозяйства: рыбоход, рыбоподъемник, рыбоводный пруд и др.

- социального устройства: бассейны, аквапарки, фонтаны.

Указанные гидротехнические сооружения, наряду с их прямым назначением, используются для: защиты от наводнений и разрушений берегов водохранилищ, берегов и дна русел рек; ограждения хранилища жидких промышленных отходов (добывающих, металлургических, энергетических) и сельскохозяйственных предприятий; предохранения от размывов на

каналах; предотвращения вредного воздействия вод и жидких отходов.

В ряде случаев общие и специальные гидротехнические сооружения совмещают в одном комплексе, например, водосброс и здание гидроэлектростанции (так называемая совмещенная ГЭС) или другие сооружения для выполнения нескольких функций одновременно.

При осуществлении водохозяйственных мероприятий гидротехнические сооружения, объединенные общей целью и располагаемые в одном месте, составляют комплексы, называемые узлами гидротехнических сооружений или гидроузлами. Несколько гидроузлов образуют водохозяйственные системы, например, энергетические, транспортные, ирригационные и т.п.

В зависимости от места расположения гидротехнические сооружения могут быть морскими, речными, озерными, прудовыми.



Рис. 32. Гродненская ГЭС

Различают также наземные и подземные гидротехнические сооружения.

Инженерно-геодезические изыскания для строительства ГЭС и ГАЭС должны выполняться в соответствии с требованиями действующих строительных норм и правил, нормативно-технических актов. Они выполняются на основе технического задания, программы работ и сметы при наличии разрешения.

Различают изыскания для:

1. [обоснования схемы размещения;](#)
2. [технико-экономического обоснования \(ТЭО\) строительства;](#)
3. [обоснования проекта;](#)
4. [обоснования рабочей документации.](#)

Инженерно-геодезические изыскания при составлении схемы размещения ГЭС (1) выполняются для обоснования проектных проработок, связанных с решением вопросов водноэнергетического использования стока рек, с разделением водотока на ступени, определением объемов намечаемых водохранилищ, размеров и структуры затоплений с выявлением площадок первоочередного строительства гидроузлов.

Исходными материалами для проведения проектных проработок схемы размещения ГЭС служат картографические, топографические, аэрофотосъемочные материалы, продольный профиль реки на исследуемом участке, профили местности по вариантам створов напорных сооружений. При этом топографические карты масштабов 1:100000 - 1:25000 являются основными материалами для разработки схемы водноэнергетического использования стока реки. Имеющиеся аэрофотосъемочные материалы (аэроснимки, фотопланы и др.) должны использоваться в качестве источника дополни-

тельной информации для инженерно-геологических изысканий и проектирования.

Продольный профиль исследуемого участка реки и ее притоков предназначен для деления реки на ступени, выбора отметки нормального подпорного уровня (НПУ), расчета высот кривых подпора на участках выклинивания водохранилища и выполнения других водохозяйственных и энергетических расчетов. В этих целях могут использоваться имеющиеся продольные профили рек, составленные ранее различными организациями.

Для предварительных расчетов продольный профиль водотока может быть составлен камеральным путем по картам масштабов 1:100000 - 1:10000 с одновременным использованием данных наблюдений водомерной сети.

Если имеющиеся продольные профили рек по своему качеству не могут быть использованы для проектирования гидротехнических сооружений (или нужные профили вообще отсутствуют), то принимается решение о проведении специальных работ по нивелированию реки и составлению продольного профиля. При этом следует выполнять работы:

- создание высотной геодезической основы;
- устройство и наблюдение временных водомерных постов;
- нивелирование уровней воды с определением планового положения точек уреза;
- обработка результатов полевых работ и составление продольного профиля реки (водотока).

Если имеющаяся высотная геодезическая основа по своей точности недостаточна для построения продольного профиля реки и высотой привязки водомерных постов, то выполняются работы по проложению нивелирных ходов требуемой точности, класс (точность) и длины которых обосновываются в программе изысканий.

Нивелирование реки для составления продольного профиля водотока производится в период устойчивых уровней воды (в межень). При этом однодневная связка горизонтов воды (вычисление высот уровней воды "на одну дату") выполняется, как правило, на равнинных реках, а на горных реках ограничиваются определением высот рабочих горизонтов воды (на дату нивелирования).

Промеры глубин по фарватеру (или по оси потока) при составлении продольного профиля реки выполняются только по специальному заданию главного инженера проекта.

Продольные профили равнинных рек, как правило, следует составлять в масштабах: горизонтальный 1:1000000 - 1:100000, вертикальный 1:200 или 1:100; для горных рек в масштабах 1:100000 - 1:25000 и 1:200 - 1:100. На продольном профиле должны быть показаны существующие водомерные посты, боковые притоки, населенные пункты, исходные реперы, искусственные сооружения и их отметки, высоты как рабочих горизонтов воды, так и по данным однодневной связки и высоты дна реки (по материалам русловых съемок, лоцманских карт и промеров глубин) и др.

Районы намечаемых гидроузлов в зависимости от ширины реки и характера рельефа долины должны быть обеспечены на равнинных реках топографическими картами масштаба 1:25000 (или 1:10000) с горизонталями через 5 или 2 м; на горных реках - топографическими планами масштаба 1:5000 с горизонталями через 2 - 5 или 10 м.

Плановая и высотная основа топографических съемок на участке проектируемых сооружений создается в виде простых тригонометрических построений или проложением теодолитных и нивелирных ходов. Закрепленные точки этой основы используются в качестве исходных знаков при выполнении всех геодезических работ на данном участке створа.

Положение намечаемых вариантов створов закрепляется на местности знаками (бетонными монолитами, скальными

марками, столбами и др.), по вариантам створов разбивается пикетаж и прокладываются теодолитные и нивелирные или тахеометрические ходы, а на участках русла реки, пересекаемых трассами вариантов створов, выполняются промеры глубин. Положение вариантов створов привязывается к контурам местности или к знакам геодезической основы и наносится на имеющиеся карты и планы. По результатам геодезических измерений составляются профили вариантов створов в удобном для проектирования масштабе.

Для проектирования водохранилищ на равнинных реках следует использовать топографические карты масштабов 1:100000 - 1:25000; на горных реках соответственно 1:25000 - 1:5000.

Для уточнения вопросов затопления или подтопления отдельных участков водохранилища, занятых населенными пунктами, промышленными предприятиями, отдельными искусственными сооружениями, а также для решения вопросов защиты ценных сельскохозяйственных угодий должны использоваться имеющиеся карты, планы и фотосхемы в масштабах 1:10000 - 1:1000. При необходимости на этих участках могут быть проложены теодолитные и нивелирные ходы с разбивкой и съемкой поперечных профилей или тахеометрические ходы с определением высот точек рельефа, а также выполнены работы по определению высот точек отдельных сооружений и составлением различных профилей.

Основной задачей инженерных изысканий для *разработки ТЭО (2)* строительства ГЭС и ГАЭС являются: изучение и сопоставление природных условий конкурирующих участков расположения проектируемых гидротехнических сооружений для выбора площадок, наиболее перспективных для строительства ГЭС или ГАЭС; обоснование проектных решений по компоновке и типам конструкций сооружений на выбранном участке строительства и охране окружающей среды,

а также получение данных об обеспеченности намечаемого строительства местными строительными материалами. В связи с этим до начала полевых работ должны быть собраны, систематизированы и изучены все имеющиеся топографические, геодезические, аэрофотосъемочные и гидрографические материалы изысканий прошлых лет на участки рассматриваемых вариантов площадок строительства ГЭС или ГАЭС.

На всех участках, намечаемых для проектирования ГЭС или ГАЭС, как правило, создается геодезическая основа топографических съемок. На наиболее перспективном участке должна быть создана геодезическая сеть сгущения в виде пунктов триангуляции полигонометрии 1 и 2 разрядов, обеспечивающая возможность производства инженерных изысканий на последующих стадиях проектирования.

Пункты геодезических сетей закрепляются постоянными знаками и центрами в целях сохранения их для производства инженерно-геодезических изысканий на последующих стадиях проектирования.

Высотная геодезическая основа на участках проектирования ГЭС или ГАЭС создается проложением ходов нивелирования IV класса и технического нивелирования или заменяющего их тригонометрического нивелирования, методика выполнения которого должна быть обоснована в программе работ.

На участках проектирования ГЭС по осям плотин всех конкурирующих створов прокладываются теодолитные и нивелирные ходы с разбивкой и нивелированием пикетажа (или тахеометрические ходы с набором пикетов в характерных местах рельефа) и составляются профили по вариантам створов в масштабах: горизонтальном - 1:5000 или 1:2000 и вертикальном - 1:500 или 1:200.

Участки намечаемых вариантов створов плотин обеспечиваются топографической съемкой: на равнинных реках в масштабах 1:10000 - 1:5000 с высотой сечения рельефа соот-

ветственно через 2 и 1 м; на горных реках - в масштабах 1:5000 - 1:2000 с высотой сечения рельефа через 5 и 2 м.

В открытых равнинных и горных районах изготовление топографических карт и планов следует производить с использованием материалов аэрофотосъемки. Аэрофотосъемка должна выполняться на территории всего изучаемого участка долины реки, а полевая (или камеральная) планово-высотная привязка аэроснимков с последующей стереофотограмметрической обработкой и выпуском плана в заданном масштабе осуществляются на перспективных вариантах площадок проектируемых сооружений.

Размеры площадей съемок устанавливаются в техническом задании с обеспечением возможности использования их на последующих стадиях проектирования.

Определение параметров водохранилища ГЭС и решение других задач, связанных с организацией водохранилища, производятся по топографическим картам в масштабах 1:25000 - 1:10000 с сечением рельефа через 5 и 10 м. По этим же картам решаются все вопросы, относящиеся к нижнему бьефу гидроузла.

Для производства водохозяйственных расчетов в целях уточнения отметки НПУ используется имеющийся продольный профиль реки, составленный при разработке схемы использования водотока, а в случае отсутствия готового профиля выполняется комплекс работ по его составлению.

Высоты основных реперов водомерных постов определяются нивелированием IV класса при удалении водомерного поста от исходных реперов до 50 км. При этом ходы нивелирования IV класса прокладываются с привязкой к двум реперам исходной нивелирной сети или в прямом и обратном направлениях.

При удалении водомерного поста от исходных реперов нивелирной сети свыше 50 км высотная привязка основного

репера водомерного поста осуществляется приложением ходов нивелирования III класса.

Проектирование линейных сооружений при разработке ТЭО строительства ГЭС и ГАЭС должно производиться камеральным путем по имеющимся топографическим картам и планам наиболее крупных масштабов (не мельче 1:10000). При необходимости могут быть выполнены полевые рекогносцировочные изыскания трасс линейных сооружений.

В соответствии с техническим заданием необходимо предусматривать выполнение специальных камеральных работ:

- перевод карт и планов из одного масштаба в другой (с увеличением или уменьшением изображения оригинала) с изготовлением копий этих планов в целях обеспечения проектных проработок топографической основой в нужных масштабах;
- изготовление специальных топографических планов в масштабах 1:5000 - 1:2000 без производства полевых работ (на основе материалов аэрофотосъемки и камеральной привязки аэроснимков по картам в масштабах 1:25000 - 1:10000), необходимых для сравнения вариантов размещения сооружений ГЭС и ГАЭС и для технико-экономической оценки объемов бетонных, земляных и других строительных работ.

Для обоснования проекта (3) инженерно-геодезические изыскания выполняются на выбранном створе ГЭС и территории водохранилища (или на выбранной площадке ГАЭС) по намечаемым трассам линейных сооружений, а также по обеспечению геодезическими материалами инженерно-геологических и гидрометеорологических изысканий.

На выбранных площадках приплотинных ГЭС или ГАЭС создается плановая и высотная геодезическая основа в виде пунктов триангуляции, полигонометрии и реперов ниве-

лирования или производится сгущение ранее созданных планово-высотных геодезических сетей.

Создаваемая геодезическая сеть должна использоваться для последующих геодезических работ, выполняемых как для обоснования проекта, так и в ходе строительства гидротехнических сооружений. В связи с этим пункты создаваемой планово-высотной геодезической сети должны закрепляться знаками, обеспечивающими их долговременную сохранность.

Точность и густота создаваемой плановой и высотной геодезической сети должны удовлетворять требованиям производства крупномасштабных топографических съемок и трассирования линейных сооружений, обеспечить вынос на местность вариантов осей сооружений, разбивку и привязку геологических выработок и точек геофизических профилей.

В зависимости от размеров выбранной стройплощадки, ее конфигурации и компоновки проектируемых сооружений плановая геодезическая сеть создается в виде триангуляции и полигонометрии 4 класса, 1-2 разрядов и съемочной геодезической сети.

На территории деривационных ГЭС, проектируемых на горных реках, с участками водозаборных сооружений, трассой деривации, напорно-станционным узлом и отводящим каналом создается планово-высотная геодезическая сеть, обеспечивающая взаимную геодезическую связь площадок проектируемых сооружений и выполнение топографических съемок на этих площадках. При этом плановая геодезическая сеть на территории площадок водозаборного и напорно-станционного узлов и по трассе деривации создается в виде триангуляции 4 класса, 1-2 разрядов или заменяющей ее полигонометрии, а высотная связь этих площадок осуществляется проложением двойного хода нивелирования III или IV классов. Передача высот при всхолмленном рельефе, затрудняющем геометрическое нивелирование, может производиться с помощью тригонометрического нивелирования, точность и методика выпол-

нения которого обосновываются в программе работ специальным расчетом.

Территория строительной площадки приплотинной ГЭС на равнинной реке (или площадки ГАЭС), содержащей основные и вспомогательные сооружения гидроузла, жилые поселки, инженерные коммуникации, верхние и нижние бассейны ГАЭС и др., должна быть обеспечена топографическими планами в масштабе 1:2000 с высотой сечения рельефа через 1 или 0,5 м в зависимости от уклонов местности. При размерах площадки, превышающих 5 , на открытой или полузакрытой местности рекомендуется выполнять аэрофотосъемочные работы в крупных масштабах с последующим производством комплекса полевых и камеральных аэрогеодезических работ и выпуском планов в масштабе 1:2000.

Для обеспечения исходными геодезическими данными системы автоматизированного проектирования (или автоматизированного составления топографических планов) создаются цифровые модели рельефа.

При топографической съемке стройплощадок производятся промеры глубин на всех водотоках и водоемах, находящихся в пределах участка съемки. Рельеф дна водотоков и водоемов изображается на планах в горизонталях с высотой сечения, принятой для топографической съемки.

Планы в масштабе 1:2000 и цифровые модели рельефа являются основой для составления генплана и проектирования всех намечаемых сооружений на равнинных реках.

При необходимости получения планов отдельных участков в масштабе 1:1000 они изготавливаются, как правило, с использованием материалов имеющихся съемок в масштабе 1:2000.

При использовании материалов топографических съемок прошлых лет следует установить качество этих материалов и в случае необходимости произвести корректуру ситуации и рельефа.

Территория гидроузла приплотинной ГЭС или ГАЭС, проектируемых в горной местности, отдельных участков головного и напорно-станционного узлов деривационной ГЭС, участков жилых поселков, строительных баз и др., а также участков порталов деривационных тоннелей и штреков должны обеспечиваться планами топографической съемки в масштабах 1:1000 - 1:500 с высотой сечения рельефа через 1 или 0,5 м в зависимости от крутизна склонов местности.

Планы отдельных участков местности в масштабе 1:500 могут составляться также путем увеличения материалов имеющихся съемок в масштабе 1:1000.

По выбранным и закрепленным на местности направлениям осей основных гидротехнических сооружений ГЭС и ГАЭС (плотины, шлюзы, трубопроводы, подводящие и отводящие каналы, самотечные и напорные деривации, дамбы обвалования и др.) прокладывается теодолитные ходы с разбивкой пикетажа и технической нивелировкой по пикетажу с составлением профилей в масштабах: горизонтальном 1:2000 или 1:1000 и вертикальном 1:200 или 1:100.

Инженерно-геодезические изыскания для обоснования рабочей документации (4) ГЭС и ГАЭС производятся в целях уточнения и детализации предусмотренных в проекте решений в той степени, в которой это необходимо для производства строительно-монтажных работ. При этом уточняется размещение на местности основных и вспомогательных сооружений ГЭС и ГАЭС и объемы строительно-монтажных работ, составляется стройгенплан, подготавливается разбивочная документация и др. При производстве инженерно-геодезических изысканий осуществляются детальные съемки участков отдельных сооружений, выполняются окончательные изыскания трасс линейных сооружений, обеспечиваются необходимыми геодезическими данными как инженерно-

геологические и гидрометеорологические изыскания, так и отделы рабочего проектирования.

Созданная на строительной площадке ГЭС и ГАЭС на стадии проекта планово-высотная геодезическая сеть дополняется при необходимости вставками пунктов триангуляции и полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов и проложением ходов нивелирования IV класса и технического нивелирования.

Для рабочего проектирования сложных сооружений ГЭС и ГАЭС (бетонные плотины, здания станций, шлюзы, открытые распределительные устройства, водозаборы, напорные трубопроводы, порталы тоннелей, базы стройиндустрии и др.) выполняются топографические съемки в масштабах 1:1000 - 1:500 с высотой сечения рельефа через 1 и 0,5 м.

Масштабы топографических съемок, необходимых для разработки рабочей документации жилых поселков, определяются на основании действующих нормативных документов по разработке проектов жилищно-гражданского строительства.

В районе водохранилища инженерно-геодезические изыскания выполняются для обоснования рабочей документации сооружений инженерной защиты, а также по строительству новых (или переустройству имеющихся) населенных пунктов, промышленных предприятий, объектов транспорта, энергоснабжения и связи, выносимых из зоны водохранилища, объектов ирригации, мелиорации, лесосводки, лесоочистки, берегоукрепления и др. При этом участки проектируемых сооружений следует снимать в масштабах 1:2000 - 1:500 с высотой сечения рельефа через 1 или 0,5 м. По осям линейных сооружений прокладываются теодолитные ходы с разбивкой пикетажа и поперечных профилей и производится нивелирование по пикетажу трасс и поперечным профилям.

По результатам полевых работ для проектирования выдаются топографические планы участков в масштабах 1:2000 -

1:500 и профили по осям трасс и поперечникам в масштабах: горизонтальном 1:2000 - 1:1000 и вертикальном 1:200 - 1:100.

Для разработки проекта регулирования поверхностного стока на территориях, защищаемых от затопления, а также от подтопления земельных массивов, населенных пунктов, промышленных предприятий и прочих объектов используются карты и планы в масштабах 1:10000 - 1:2000 с высотой сечения рельефа через 2 и 1 м.

При необходимости имеющиеся материалы дополняются данными полевых изысканий по трассам каналов, ливне-стоков, коллекторов и др. в виде профилей, значений высот колодцев ливневой канализации и дренажа, а также результатами топографических съемок участков населенных пунктов со сложными системами ливне-стоков и дренажа.

По предусмотренным в проекте трассам линейных сооружений (железным и автомобильным дорогам, линиям электропередачи и связи, коммуникациям промышленного и бытового водоснабжения, теплофикации, канализации, газоснабжения и др.) завершаются инженерно-геодезические изыскания. При этом трассировочные работы производятся как по вновь намеченным, так и по улучшенным вариантам трасс с закреплением осей линейных сооружений постоянными знаками. Если по отдельным трассам линейных сооружений на стадии проекта были выполнены только схематические проработки, то на стадии рабочей документации трассировочные работы осуществляются в объеме, необходимом для обоснования одностадийного проектирования объекта.

В ходе строительства продолжаются геодезические наблюдения за смещениями (деформациями) отдельных участков местности с неблагоприятными природными процессами и явлениями (оползни, карсты, участки с неустойчивыми склонами или тектоническими нарушениями и др.).

Одновременно уточняется составленная на стадии проекта программа геодезических наблюдений за деформациями строящихся сооружений ГЭС или ГАЭС.

На основании уточненной программы определяются окончательная сметная стоимость геодезических работ по наблюдениям деформаций строящихся сооружений, которая учитывается в главе сводного сметного расчета стоимости строительства.

Мостовые переходы. Для перехода через водные преграды строят систему инженерных сооружений, называемую переходом водотока.

Переходы через водотоки классифицируют по типам основных пересекающих их искусственных сооружений. Для непосредственного пересечения водотока могут быть построены:

- капитальный мост — искусственное сооружение, пропускающее дорогу над водным препятствием;
- транспортный тоннель — сооружение, пропускающее дорогу под водным препятствием;
- наплавной мост, пропускающий дорогу по понтонам в течение части года с положительными температурами;
- паром — подвижное специальное плавучее средство, предназначенное для перевозки автомобилей, автопоездов и других транспортных средств через водное препятствие;
- ледовая переправа — временное сооружение, пропускающее дорогу по льду и являющееся заменой наплавному мосту или парому в зимнее время при ледовом покрове значительной мощности.

Мостовой переход — это часть автомобильной дороги, представляющая собой комплекс сооружений, включающий в себя:

- мост, пересекающий собственно водоток;

- подходы к мосту — непереливаемые, укрепленные насыпи, периодически подтапливаемые паводковыми водами;
- регуляционные и защитные сооружения, призванные защищать мост и подходы от вредного воздействия водного потока, особенно в периоды прохождения высоких паводков.



Рис. 33. Кировский мост, г. Витебск

Мост и подходы к нему являются основными сооружениями транспортного назначения, по которым осуществляется круглогодичное движение транспортных потоков. Регуляционные и защитные сооружения — это вспомогательные сооружения, являющиеся неотъемлемой частью мостовых переходов, без которых в большинстве случаев невозможно обеспечить сохранность и нормальную работу перехода в целом.

Мостовые переходы должны удовлетворять целому ряду требований и, прежде всего, должны обеспечивать беспре-

пятственный пропуск транспортных потоков в любое время года, быть устойчивыми в течение всего расчетного срока службы, т.е. противостоять разрушающим воздействиям водного потока и быть устойчивыми прирусловых деформациях: природных, общих (боковых и глубинных) и местных.

Определенные требования предъявляют к мостовым переходам через судоходные реки по обеспечению необходимых условий судоходства:

- должны быть выдержаны минимальные под мостовые габариты при расчетных судоходных уровнях воды (РСУ),
- выполнены требования, при которых не будут нарушаться условия прохождения судов в паводки из-за увеличения скоростей течения в руслах рек на участках влияния мостовых переходов при высоких уровнях и в меженный период (при низких уровнях) после паводков в результате занесения судоходных прорезей продуктами размыва.

Выбранный мостовой переход должен хорошо увязываться с общим направлением трассы и удовлетворять следующим требованиям:

а) ось перехода располагают примерно перпендикулярно к направлению течения реки (в пределах $5 - 10^\circ$), в особых случаях допускается косое пересечение;

б) трасса должна пересекать реку в самой узкой и возвышенной части поймы, вдали от перекатов, избегая отмелей, островов, мест с крутыми поворотами русла, притоков других рек и ручьев.

- в) благоприятные геологические условия:
- неглубокое залегание коренных пород;
 - пологий рельеф на берегах;
 - русло реки должно быть устойчивым и постоянным во времени;
 - отсутствие оползневых и карстовых явлений.

Для выбора оптимальной трассы необходимо иметь топографические планы масштабов 1:10000 – 1:5000, на которые нанесены изменения, произошедшие с момента съемки до момента проведения изысканий.

Строительство мостовых переходов не должно приводить к подтоплению или разрушению других народнохозяйственных объектов, населенных пунктов, переходов коммуникаций т.д. Кроме того, общая строительная стоимость мостовых переходов (а это чрезвычайно капиталоемкие сооружения) по возможности должна быть минимальной.

При проектировании мостовых переходов всегда приходится решать две принципиальные взаимосвязанные проблемы: назначение таких генеральных размеров сооружений мостового перехода, которые обеспечивали бы его безаварийную работу в течение всего расчетного срока службы, и прогноз вредных последствий мостового строительства, связанных со стеснением паводкового потока подходами и нарушением бытового режима водотока.

Одним из основных видов информации о местности, необходимой для разработки проектов мостовых переходов, являются материалы инженерно-геодезических изысканий. Состав изыскательских работ, масштабы, точность и объемы топографических съемок во многом зависят от стадии проектирования (ТЭО — технико-экономическое обоснование или ОИ — обоснование инвестиций, ИП — инженерный проект, РД — рабочая документация или РП — рабочий проект).

Однако в соответствии с перечнем инженерных задач, решаемых при проектировании мостовых переходов, для любой стадии проектирования в том или ином объеме при изысканиях выполняют следующие обязательные виды основных работ:

1) инженерно-геодезические работы, связанные с трассированием мостовых переходов, созданием планово-

высотного обоснования съемок, выполнением теодолитных и топографических съемок, съемками продольных и поперечных профилей и т.д.;

2) гидрологические обследования, связанные со сбором материалов, характеризующих режим водотока, морфометрическими обследованиями речной долины;

3) гидрометрические работы, состоящие в съемках речного дна русла, определении скоростей и направлений течения, расходов воды, уклонов свободной поверхности, характеристик руслового процесса и т.д.;

4) инженерно-геологические работы по составлению геолого-литологических разрезов, почвенно-грунтовым, гидрогеологическим обследованиям, поиску местных дорожно-строительных материалов;

5) прочие работы, связанные с обследованием существующих гидротехнических сооружений для проектирования мостовых переходов в условиях взаимодействия с другими инженерными сооружениями на реках, установлением условий судоходства и лесосплава и т.д.

Изыскания мостовых переходов осуществляют в три этапа: подготовительный, полевой и камеральный. В *подготовительный* период перед выездом в поле изучают имеющиеся материалы на район изысканий: топографические, гидрометеорологические, геоморфологические и экономические. В первую очередь собирают и изучают имеющиеся картографические и аэрофотосъемочные материалы на район изысканий. В подготовительный период осуществляют предварительное трассирование вариантов мостового перехода, определяют объемы полевых изыскательских работ, укомплектовывают изыскательскую партию (экспедицию) инженерно-техническим персоналом и необходимым оборудованием.

Инженерно-геодезические работы в *полевой* период состоят, прежде всего, в производстве топографических

съемок с целью получения ситуационных и топографических планов, а также цифровых (ЦММ) и математических (МММ) моделей местности в объеме, достаточном для обоснования выбора наиболее рационального створа перехода и проектирования всех его основных сооружений (моста, подходов, регуляционных и защитных сооружений).

Построение *мостовой разбивочной основы* осуществляют путем создания мостовой триангуляции, линейно-угловой сети или полигонометрии.

Разбивочную сеть создают в частной системе координат ось X – ось мостового перехода. Координаты одного из пунктов, лежащих на оси, принимают за начало координат. Точность определения положения пунктов разбивочной основы относительно пункта, принятого за исходный, равна 6 мм (предельная ошибка).

Ситуационный план снимают в масштабе, как правило, не мельче 1:5000 в пределах зоны, охватывающей все принципиальные варианты трассы мостового перехода в тех случаях, когда имеющиеся картографические и аэрофотосъемочные материалы по объему недостаточны или уже устарели. План снимают на всю ширину разлива реки в паводки с запасом ориентировочно еще на 200 м в обе стороны за линии урезов при расчетном уровне высокой воды РУВВ1%. Длину участка съемки по речной долине принимают не менее чем по 1,5 ширины разлива вверх и вниз по течению от оси каждого варианта трассы. Поэтому при относительно близко расположенных вариантах трассы мостового перехода снимают один общий план, охватывающий все принципиальные варианты плюс по 1,5 ширины разлива вверх и вниз по реке от крайних вариантов трассы мостового перехода.

На ситуационных планах фиксируют: все варианты трассы мостового перехода, русло реки, староречья, протоки и

озера, линии границ разлива реки в паводки, населенные пункты, отдельные здания и сооружения на пойме, существующие автодорожные и железнодорожные мостовые переходы и другие гидротехнические сооружения, воздушные и подземные коммуникации, морфостворы и гидростворы, водомерные посты и т.д.

Ситуационные планы мостовых переходов снимают малогабаритными оптическими теодолитами (типа 2Т30, 2Т30П, 4Т30П и т.д.), электронными и компьютерными тахеометрами (типа ТаЗМ, ЗТа5, «Geodimeter 620S», «Sokkia» и т.д.), аэрокосмическими или наземнокосмическими методами с использованием систем спутниковой навигации GPS и ГЛОНАСС, а также с использованием приборов воздушного и наземного лазерного сканирования. Использование перечисленных выше современных методов сбора информации о местности является особенно эффективным при изысканиях мостовых переходов.

Детальную топографическую съемку для составления крупномасштабных планов и ЦММ выполняют, как правило, для окончательно установленного направления варианта мостового перехода. Размеры детальной топографической съемки устанавливают исходя из необходимости проектирования моста, подходов к нему, струенаправляющих дамб, струеотбойных траверсов, срезок пойменных берегов, спрямлений русел, берегоукреплений, строительных площадок, цементобетонных (ЦБЗ) и асфальтобетонных (АБЗ) заводов, площадок ВОХР и т.д. Размеры подводных съемок назначают исходя из необходимости оценки русловой ситуации в районе мостового перехода, типа и количественных характеристик руслового процесса, оценки условий судоходства и сплава. Детальные топографические съемки выполняют обычно в масштабе 1:2000 для больших мостовых переходов и 1:1000 — для средних и малых мостовых переходов.

Ситуационным и топографическим съемкам предшествует создание съемочного обоснования. Наиболее часто съемочные обоснования мостовых переходов создают в виде замкнутых теодолитных ходов (полигонов) с диагональными и, при необходимости, висячими ходами, а также в виде микротриангуляции (рис. 33).

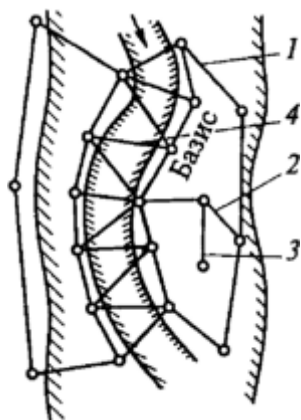


Рис. 33. Съемочное обоснование мостовых переходов

Привязку съемочного обоснования мостового перехода производят к пунктам государственной геодезической сети или чаще — к трассе мостового перехода, при этом последнюю включают в съемочное обоснование.

Кроме топографической съемки планов, в состав геодезических работ при изысканиях мостовых переходов входят:

- разбивка вариантов трассы (вешание линий, закрепление трассы, разбивка пикетажа, двойное геометрическое нивелирование по оси трассы, съемка поперечников);
- разбивка морфостворов и гидростворов, необходимых для выполнения гидравлических расчетов по морфометрическим и геометрическим характеристикам русла и пойм, а также для производства гидрометрических работ. Разбивку морфостворов и гидростворов (особенно на средних и малых во-

дотоках) часто производят методом тригонометрического нивелирования;

- съемка продольного профиля реки, на который наносят профиль дна по фарватеру, профиль свободной поверхности потока при межени и высокой воде, бровки русла по правому и левому берегам, зафиксированные точки уровней высоких и исторических паводков и т.д.;

- геодезическое обоснование гидрометрических работ (измерение скоростей течения и расходов воды; промеры глубин; измерение траекторий судов, плотовых составов, льдин и поплавков);

- геодезическое сопровождение инженерно-геологических работ (буровые инженерно-геологические работы по оси трассы, съемка геологических поперечников в руслах рек, топографические съемки грунтовых карьеров и резервов и т.д.);

- съемка пересекаемых коммуникаций;
- обследование и съемка существующих близлежащих инженерных сооружений (прежде всего существующих автомобильных и железнодорожных мостовых переходов, капитальных и некапитальных плотин и т.д.).

При производстве изысканий мостовых переходов на современном этапе широко применяют аэрофотосъемку (аэротопографические, аэроморфометрические и аэрогидрометрические работы), воздушное лазерное сканирование, наземное лазерное сканирование, электронную тахеометрию и наземно-космические съемки с использованием систем спутниковой навигации GPS и ГЛОНАСС). Эти современные методы и технологии сбора информации позволяют резко повысить производительность полевых работ и максимально автоматизировать процесс камеральной обработки материалов изысканий.

В камеральный период ведут обработку материалов полевых работ, готовят ситуационные и детальные топографи-

ческие планы, продольные и поперечные профили, ЦММ, готовят отчеты о проведенных полевых работах. Широкое использование систем автоматизированного проектирования (САПР), цифровых фотограмметрических систем (ЦФС, современной компьютерной техники и сопутствующих устройств (лазерных и струйных принтеров, цветных графопостроителей, сканеров и других средств автоматизации) на современном этапе в ходе камеральных работ является обязательным.

Геодезические работы при проектировании каналов и состав работ. По назначению каналы делятся на судоходные, оросительные, энергетические, водопроводные, обводнительные, осушительные и лесосплавные.

Судоходные, водопроводные, энергетические каналы и сооружения на них условно относятся к группе магистральных каналов.

Проектирование магистральных каналов ведут в две стадии: технический проект и рабочие чертежи.

Двум этим стадиям предшествует разработка технико-экономического обоснования (ТЭО), для него необходимы:

- топографическая карта масштаба 1:100000 на район канала;
- топографическая карта в масштабе 1:25000 полосы вдоль трассы канала шириной 2 – 3 км;
- продольные профили рек, русла которых предполагается использовать в качестве ложа канала;
- сведения по плановому и высотному обоснованию на район проектирования.

Топографо-геодезические работы на стадии *технического проекта*:

- уточнение местоположения трассы канала на картах масштаба 1:10000 или 1:5000 с $h = 2$ м и $h = 1$ м;

- топографическая съемка существующих искусственных сооружений и русел рек (масштаб 1:2000 с $h = 0,5 - 1$ м);
- топографическая съемка месторождения строительных материалов (1:5000 или 1:2000 с $h = 1,0$ м);
- продольные и поперечные профили по оси запроектированного канала и других линейных сооружений.



Рис. 34. Августовский канал

Топографо-геодезические работы *на стадии рабочих чертежей*:

- создание планового и высотного обоснования (оно создается в виде триангуляционной цепочки четырехугольников без диагоналей или в виде геодезических засечек, светодальномерной полигонометрии; при необходимости сгущение производят теодолитными ходами);
- комплекс работ по составлению продольного и поперечного профилей по окончательному варианту трассы (разбивка пикетажа, кривых, поперечных профилей, нивелирование по пикетажу, закрепление трассы). Класс нивелирования выбирается в зависимости от уклона дна проектируемого канала (при $i < 0,00005$ – III класса, если уклон $0,00005 < i$

$< 0,00015$ – IV класса, при $i > 0,00015$ – техническое нивелирование);

- окончательные изыскания линейных сооружений;
- топографическая съемка участков со сложным рельефом, под жилой поселок и для производственных предприятий в масштабе 1:2000 или 1:1000 $h = 0,5$ м; – геодезическая привязка геологических выработок;
- вынесение в натуру оси канала;
- определение на местности контура водохранилища; – закрепление осей трассы канала и гидротехнических сооружений постоянными знаками (вершин углов поворота, дополнительных углов, начал и концов кривых и т. д.).

Геодезические работы при гидромелиоративном строительстве. Мелиорацией земель называют комплекс мероприятий по улучшению природных условий земель.

Различают мероприятия гидромелиоративные и агро-мелиоративные. Гидромелиорация связана с орошением или осушением земель, агро-мелиорация – с усилением водопроницаемости и влагоемкости почвы. Оросительная система представляет собой комплекс гидротехнических сооружений, забирающих воду из источника орошения и распределяющих ее по орошаемой площади. Водозабор из источника может быть самотечным или напорным (с помощью насосов).

По конструкции оросительная система может быть открытой, закрытой и комбинированной.

Геодезические работы выполняются на всех стадиях проектирования и строительства гидромелиоративных систем.

При изысканиях производят сбор и анализ картографо-геодезической информации на район работ; создают планово-высотное обоснование для съемки мелиорируемого участка, производят крупномасштабную съемку, выполняют трассирование каналов, коллекторов, водоприемников, напорных трубопроводов и других линейных сооружений; обеспечивают в

геодезическом отношении другие виды инженерных изысканий.



Рис. 34. Осушение болот

Строительству предшествуют основные разбивочные и планировочные работы, а в процессе строительства выполняют детальные разбивки и геодезические измерения, обеспечивающие положение, форму и размеры запроектированных сооружений.

В зависимости от размера территории геодезической основой для изысканий и вынесения проекта в натуру служат триангуляционные, линейно-угловые и полигонометрические сети 4 класса и сети сгущения 1 и 2 разрядов.

В качестве высотной основы прокладывают нивелирные хода III класса вдоль магистральных каналов, их сгущение производят нивелирными полигонами IV класса.

Разбивочные работы начинают с перенесения в натуру основных осей сооружений. Выносят и закрепляют оси магистральных каналов или трубопроводов. От них выполняют разбивку распределительных каналов и поливных борозд.

Разбивку осушительных систем начинают с выноса в натуру осей коллекторов, а от них выносят оси отдельных дренажей.

Детальную разбивку трасс сооружений для разработки траншей производят через 20 метров. Закрепленные пикеты трасс нивелируют с точностью нивелирования IV класса. При планировочных работах сначала производят предварительную планировку, в результате чего получают поверхность с отметками, отличающимися от проектных на 10 – 15 сантиметров. Здесь успешно может применяться лазерная система контроля.

ЛЕКЦИЯ № 8. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРО- ВОДОВ И ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Магистральными трубопроводами называют сооружения, предназначенные для транспортирования на дальние расстояния нефти, нефтяных продуктов, газа и воды. Магистральные трубопроводы состоят из подводящих трубопроводов, головных и линейных сооружений и промежуточных станций.

По подводящим трубопроводам или ответвлениям местного значения нефть самотеком, а газ под небольшим давлением передаются на промыслах от действующих скважин к сборным пунктам, емкостям и головным сооружениям, а от них — к потребителю.

Головные сооружения включают в себя головную насосную станцию (компрессорную в газопроводах), создающую заданный напор в трубопроводе, и емкости для сбора и хранения нефти или газа. Головные сооружения располагаются вблизи промыслов или нефтеперегонного завода при транспортировании нефтепродуктов.



Рис. 35. Геодезические работы при укладке трубопроводов

Промежуточные станции, располагаемые по трассе через 80 ... 100 км (в газопроводах и реже), поддерживают высокое давление в трубопроводе.

Линейные сооружения — трубопроводы диаметром 500 ... 2000 мм с колодцами через 5 ... 10 км и переходами через препятствия.

Для удобства эксплуатации вдоль трассы трубопровода прокладывают телефонную линию и грунтовую дорогу.

Магистральные трубопроводы укладывают в грунт на глубину не менее 0,8 м до верха трубы, а при переходе через водные преграды - не менее 0,5 м от уровня возможного размыва дна. Уклоны трубопровода проектируют преимущественно параллельно рельефу местности. Поэтому для правильного определения длины трубопровода пикетаж разбивают по наклонной местности. По наклонным расстояниям составляют и продольный профиль. План трассы строят по горизонтальному проложению линий. Радиус горизонтальных кривых (круговых и переходных) назначают из условия $R(m) \geq 0,9 D_n (mm)$; где D_n — наружный диаметр трубопровода в миллиметрах.

В районах вечной мерзлоты, в болотистых и горных местах, на оползнях проектируют надземную прокладку магистральных трубопроводов на опорах.

На стадии технических изысканий определяют наилучший кратчайший вариант трассы, который удовлетворял бы всем техническим условиям и требовал бы минимальных затрат на строительство. Варианты трассы намечают по топографической карте, придерживаясь наиболее короткого направления между начальным и конечным пунктами. По возможности стремятся приблизить трассу к существующим железным и автомобильным дорогам, чтобы использовать их при строительстве и эксплуатации трубопровода. В настоящее время для выбора наилучшего варианта трассы широко применяют аэрофотосъемку.

На полевом этапе изысканий уточняют положение трассы в натуре и закрепляют ее основные точки, выбирают места переходов и площадки станций.

Для составления рабочих чертежей производят полевое трассирование трубопровода с измерением и закреплением углов поворота, разбивкой и нивелированием пикетажа, съемкой пересечений и переходов.

Вершины поворотов отмечают вехами и закрепляют столбами, при этом расстояния между угловыми знаками, а на длинных прямых участках между створными точками должны быть 300...500м. Реперы размещают по трассе через 2 ... 3 км, приурочивая их к большим углам поворота; лучше всего их устанавливать на продолжении стороны трассы на расстоянии 10 ... 15 м от вершины угла. На длинных трассах, в местах, не обеспеченных высотной основой, через каждые 10 км устанавливают железобетонные реперы. Все реперы в плановом положении привязывают к трассе. Трассу привязывают к геодезическим пунктам не реже чем через 50 км. При отсутствии вблизи трассы опорных пунктов через каждые 30 ... 40 сторон определяют истинный азимут.

Для проектирования мест пересечения трубопроводом рек, оврагов, каналов, дорог дополнительно проводят подробную съемку этих мест в масштабе 1:500 или 1: 1000.

На переходах через реки и овраги сооружают дюкер, т. е. трубопровод заглубляют в землю ниже дна препятствия; при пересечении горных дорог и глубоких ущелий возводят эстакаду.

Съемку участка перехода реки производят в масштабе 1:500— 1:1000 с сечением рельефа через 0,5 м. Снимают оба берега и дно реки. Съемку дна выполняют путем промеров глубин по трем створам: главному и двум боковым, расположенным выше и ниже по течению на 50... 60 м от оси.

Одновременно с трассированием трубопровода производят изыскания и съемку площадок головных сооружений и

промежуточных станций. Выбранные площадки снимают в масштабе 1:500. На основании материалов полевого трассирования составляют план трассы трубопровода в масштабе 1:5000—1:10000, планы отдельных пересечений и площадок в масштабе 1:500—1:1000, а также продольный профиль трассы.

Перед строительством трубопровода восстанавливают и закрепляют углы поворота, пикетаж трассы, детально разбивают кривые, сгущают сеть рабочих реперов (не реже чем через 1 км), проводят контрольные измерения линий и повторное нивелирование. Одновременно с восстановлением трассы в соответствии с проектом разбивают и закрепляют колодцы и переходы. Точки крепления выносят за пределы зоны земляных работ, т. е. примерно на 5, м в обе стороны от оси.

Для производства земляных работ необходима детальная разбивка траншеи, характер которой зависит от того, каким экскаватором будут выполняться эти работы. При использовании одноковшового экскаватора примерно через 10 м намечают на местности от закрепленной оси обе бровки траншеи и указывают глубину последней. Для правильной работы многоковшового экскаватора (канавокопателя) разбивают линию, которая параллельна оси трубопровода и отстоит от нее на величину, равную половине расстояния между внутренними гранями гусениц канавокопателя. Эту линию закрепляют через 5 ... 10 м кольями, которые должны быть хорошо видны экскаваторщику. При направлении грани соответствующей гусеницы вдоль линии колеи канавокопатель будет двигаться строго по намеченной трассе.

Чтобы избежать переборов грунта, траншеи не добирают до проектных отметок на величину 10 ... 15 см. Затем на пикетах и на колодцах строят обноски и с помощью визирок зачищают окончательно дно траншеи. Обноска становится перпендикулярно оси трубопровода. На колодцах, расположенных на поворотах трассы, обноску ставят по биссектрисе

угла. От точек крепления на обноску выносят ось траншеи и закрепляют ее гвоздем. Натянув между осевыми точками соседних обносок проволоку и подвесив на нее отвес, проверяют плановое положение траншеи.

По окончании укладки трубопровода производят дополнительную съемку.

Линии электропередач (ЛЭП) разделяются на кабельные (подземные) и воздушные.

Кабельные линии в основном прокладывают на застроенных территориях. По воздушным ЛЭП, как правило, передается ток высокого напряжения на значительные расстояния. Воздушные линии связи состоят из опор, проводов, изоляторов.

Направление больших магистральных трасс ЛЭП выбирают в период технико-экономического обоснования, а небольших трасс - при подготовке технического задания на проектирование.

Трассу выбирают в соответствии с техническими условиями с учетом топографических, инженерно геологических и гидрометеорологических условий местности.

Трассу ЛЭП намечают вдали от аэродромов, крупных населенных пунктов, промышленных предприятий, заповедников, курортов, на землях, не имеющих сельскохозяйственного назначения. Желательно, чтобы трасса меньше пересекала водотоки, ущелья, инженерные сооружения. Угол, перпендикулярный с препятствием, должен быть близок к 90° , но не менее 45° . В горных районах стремятся трассу расположить на устойчивых склонах. По возможности трассу приближают к существующим дорогам и с учетом подъезда к опорам трассы.

При изысканиях ЛЭП необходимо соблюдать требование габаритного приближения проводов. Для ненаселенных территорий габарит приближения проводов составляет 7 – 8

м, в труднодоступной местности – 6 – 7 м; для линий с напряжением 220 – 500кВ – 6 – 8 м и для линий с напряжением 750 кВ – 10 – 12 м.

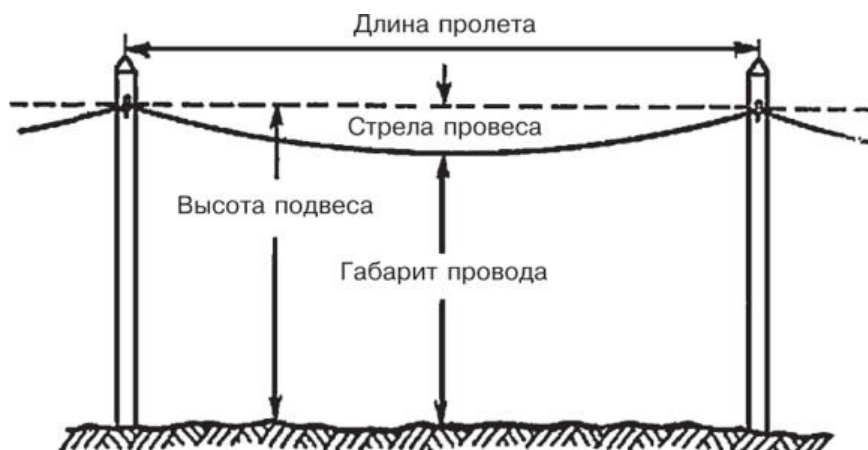


Рис. 36. Габарит приближения проводов

Охранная зона вдоль ЛЭП напряжением 110 – 500 кВ не менее 20 – 30 м, для 750 кВ – 40 метров.

При пересечении железных и автомобильных дорог вертикальное расстояние от проводов до полотна дороги должно быть не менее 8 – 10 метров, над заповедниками и арками расстояние от проводов до крон деревьев уменьшается до 4 – 6 метров.

Технические изыскания трассы ЛЭП выполняют по выбранному и утвержденному направлению. Эти изыскания начинаются с изучения материалов выбора трассы и проверки документов согласования. Технические изыскания небольших трасс, проходящих в слабо пересеченной местности, выполняют наземными методами. При изысканиях больших трасс, прокладываемых в сложных условиях, применяют аэрометоды.

Основные точки выбранной и утвержденной трассы по данным привязки к контурам или координатам выносят на местность.

Полевое трассирование проводят в том же порядке, что и для дорожных сетей. На трассах воздушных ЛЭП продольные профили можно составлять по плюсовым точкам, взятым на характерных перегибах рельефа местности и в местах пересечений естественных препятствий или искусственных сооружений. Разбивку опор линий ведут от близлежащих закрепленных точек трассы. Нивелирование трассы воздушных ЛЭП выполняют с целью составления продольного профиля, по которому проектируют положение и высоту опор, обеспечивающих расчетный габарит приближений проводов.

При этом ошибки из-за обобщения (спрямления) рельефа при выборе характерных плюсовых точек не должны превышать 0,3 м. Этому требованию должна соответствовать точность нивелирования. Через каждые 8 - 10 км на трассе устанавливают железобетонные или деревянные реперы. Планово-высотную привязку ходов по трассе производят не реже чем через 15 - 20 км. По результатам изысканий трассы составляют продольный профиль ЛЭП.

Изыскания линии связи ведут преимущественно в одну стадию. Геодезические работы, которые выполняют при строительстве линий электропередачи и связи, состоят в разбивке на местности опор и в определении фактического габарита приближения проводов.

Центры опор разбивают по их пикетажному значению от ближайших закрепленных точек трассы: вершин углов поворота и створных точек. Направление по створу трассы задается теодолитом, проектные расстояния откладывают дальномером или рулеткой с введением в каждый пролет поправок за наклон местности.

ЛЕКЦИЯ № 9. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ АЭРОПОРТОВ

По назначению различают аэропорты международные, региональные и местные. В зависимости от объёма пассажирских перевозок аэропорты разделяют на пять классов.

В комплексе аэропорта различают несколько зон:

- а) летная зона (аэродром);
- б) зона застройки (служебно-технические сооружения);
- в) районы воздушных подходов.

На территории аэродрома, длина которого может достигать 4 км, производят вертикальную планировку рельефа с повышенной точностью. Главную взлётную полосу (ГВП) располагают вдоль господствующего направления ветров. К взлётно-посадочной полосе (ВПП) могут примыкать параллельно боковые и концевые дополнительные полосы безопасности.



Рис. 37. Аэропорт Минск-2

Светосигнальное оборудование размещается приблизительно за 1 км до и после ВПП. Сигнальные огни обозначают габариты ВПП и высвечивают её продольную ось.

Покрытие взлетных полос обычно искусственное – цементобетонное. На случай ремонта имеются вспомогательные бетонные или же грунтовые взлетно-посадочные полосы, их располагают параллельно основной на расстоянии 1000 – 2500 метров, или под углом к ней.

Для размещения и обслуживания во время стоянки самолётов сооружают места стоянки (МС), которые соединяются с ВПП и станционной площадкой рулёжными дорожками (РД).

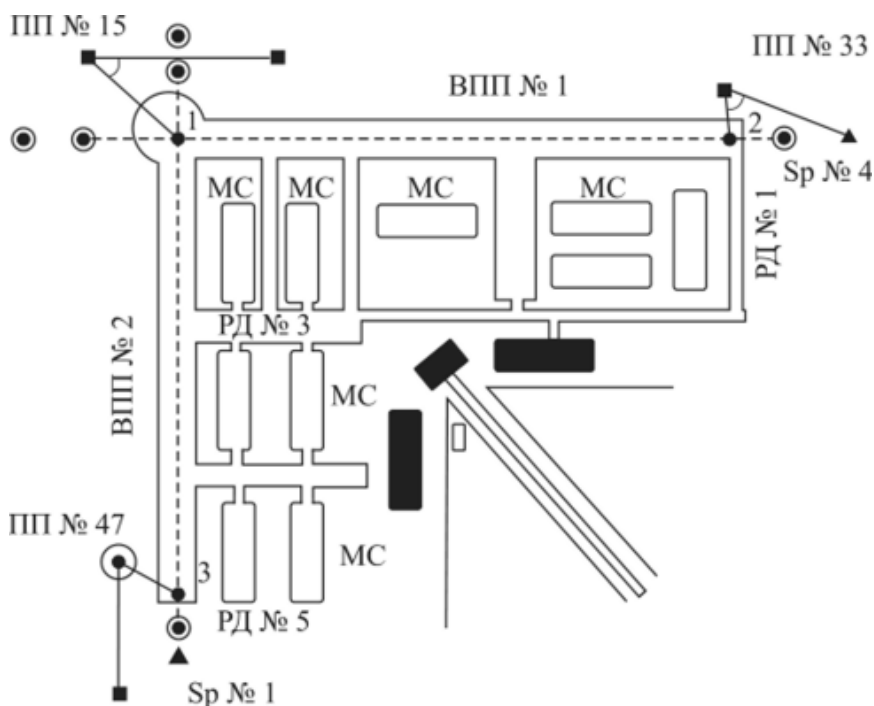


Рис. 38. Схема генплана аэропорта

К аэродрому прилегают полосы воздушных подходов, в пределах которых ограничивается высота вертикальных препятствий. От лётной полосы в направлении продольной оси поверхность, ограничивающая высотные препятствия, идёт с уклоном 1:200 - 1:100.

В поперечном направлении к оси лётного поля в средней его части поверхность, ограничивающая высотные препятствия, поднимается от границ поля с уклоном 1:25.

Среди сооружений аэропорта, в частности аэродрома важное место занимают подземные инженерные сети: система водоотводных сооружений (ливневая канализация и дренаж), водопроводные сети, кабельные линии.

В состав служебно-технической территории входят здания и сооружения транспортного и административного, а также служебного назначения (аэровокзал, перроны, технические службы), ангары, склады и хранилища, устройства радионавигационного комплекса и другие сооружения и службы.

Требования к выбору площадки для аэропортов. При выборе площадок для строительства аэропорта придерживаются следующих общих требований.

1. Площадка должна быть достаточных размеров для размещения всех сооружений аэродрома, а главная ВПП должна быть ориентирована вдоль господствующего направления ветров в регионе.

2. Рельеф лётного поля не должен иметь существенных уклонов, глубоких балок и оврагов. Уклоны местности должны быть в пределах 0,02 - 0,03, но не менее 0,003 - 0,005. При этих условиях объём земляных работ на площадке строительства будет минимальным.

3. Площадка должна иметь открытые воздушные подходы, особенно на рубежах захода на посадку и взлёта.

4. Грунты площадки должны быть устойчивыми, с глубоким залеганием грунтовых вод, без заболоченных участков, карстовых и оползневых явлений.

Состав работ при изысканиях и строительстве аэропортов. На выбранной площадке выполняют комплексные изыскания с целью получения крупномасштабных планов.

Для выбора площадки аэропорта производят камеральные изыскания: изучают территорию района по топографическим картам, аэрофотосъёмочным материалам, выполняют обследование территории с летательных аппаратов, изучают геологию и гидрологию грунтов.

Сегодня аэропорты проектируют в одну стадию и выполняют следующие инженерно-геодезические работы:

- трассирование на местности направления главной лётной полосы и построение планово-высотной основы (разбивку параллельно этому направлению сетки квадратов со сторонами 400х400 м);
- съёмку площадки аэропорта и прилегающей территории в масштабе 1:5000 с сечением рельефа 0,5 - 1,0 м;
- съёмку районов воздушных подходов с характеристикой препятствий, определением их высоты и отметки основания;
- съёмку аэродрома и площадки строительства аэропорта в масштабе 1:2000- 1:1000. Высота сечения при съёмке лётного поля принимается равной 0,5— 0,25 м. Съёмку производят путём нивелирования поверхности по квадратам.

Геодезическая сеть, создаваемая в процессе изысканий аэропорта как основа для съёмочных работ, обычно является и опорной для вынесения проекта аэропорта на местность, поэтому она по точности должна удовлетворять как требованиям съёмочных работ территории, так и требованиям разбивки основных осей полос и красных линий застройки.

Поскольку для удобства выполнения разбивочных работ ставится условие, чтобы пункты геодезической основы совпадали с вершинами квадратов сетки 400х400 м, то такая

сеть является также основой для производства съёмочных работ.

Для производства съёмочных и разбивочных работ на территории аэропорта средние квадратические ошибки взаимного положения пунктов сети не должны превышать 10 см, а ошибки в высотах реперов относительно исходного - 25 мм.

Плановая основа. При изысканиях аэропортов площадь съёмки в масштабе 1:5000 может достигать 20 км² и более. Съёмке подлежит не только площадка аэропорта, но и прилегающая территория. В масштабе 1:2000 может быть заснята территория в 5 - 8 км² (съёмка аэродрома), а в масштабе 1:500 и 1:1000 - территория застройки может составить около 1 км². Поэтому в практике аэродромных изысканий съёмку масштаба 1:5000 проводят на съёмочном обосновании, а для съёмки более крупных масштабов и производства разбивочных работ строятся более точные линейно-угловые сети.

Геодезическая разбивочная основа сегодня может быть построена на основе спутниковых методов. Сгущение может быть осуществлено в виде ходов полигонометрии или рядов бездиагональных четырёхугольников. Геодезические пункты располагают вблизи основных сооружений аэропорта (ВПП, МС, и т. п.) и совмещают с вершинами 400-метровой сеткой квадратов.

Для этого на границах участка в удобных местах с открытым горизонтом закладывают пункты так называемыми «кустами», иначе говоря, группами из 2-3 пунктов со взаимной видимостью в кусте. Расстояния между спутниковыми пунктами подбираются из соображений обеспечения необходимой точности угловых привязок к этим пунктам. Спутниковые пункты являются основой для построения между ними полигонометрических ходов. Полигонометрические ходы проектируют и прокладывают замкнутыми ходами из соображений обеспечения разбивки сетки квадратов по главным

направлениям между пунктами спутниковых определений. Класс полигонометрии - это 1 или 2 разряд.

Высотная основа. Нивелирные сети при строительстве аэропортов играют очень важную роль. По высотам точек местности составляют проект вертикальной планировки и вычисляют объёмы земляных работ. По высотам выносят в натуру все элементы поверхности аэродрома и подземные коммуникации.

Высотной основой площадки крупного аэропорта служат сети нивелирования III класса, которые прокладывают замкнутыми полигонами по ходам полигонометрии, совмещая плановые знаки с высотными. Между реперами III класса внутри полигонов прокладывают ходы нивелирования IV класса по сторонам основной сетки квадратов.

Пункты геодезической основы закрепляют бетонными знаками, точки рабочего обоснования - деревянными столбами. Так как плановые знаки одновременно являются высотными (реперами), то их закладывают ниже глубины промерзания грунта.

Конструкция знаков может быть различной, но общее требование к ним - это надёжность и стабильность их планово-высотного положения. Головки знаков располагают вровень с землёй или ниже на 5 - 10 см.

Состав геодезических работ на двух стадиях проектирования.

1. Стадия изысканий для технического проекта:

а) трассирование на местности направления главной летной полосы и разбивка на площадке параллельно этому направлению сетки квадратов со сторонами 400 x 400 м;

б) съёмка площадки аэропорта и прилегающей территории в масштабе 1:5000 с высотой сечения рельефа 0,5 – 1 м;

в) упрощенная плановая съемка района воздушных подходов с подробной характеристикой препятствий (определение высоты препятствия и отметки его основания).

2. Стадия изысканий для рабочих чертежей:

а) создание геодезической основы для съемки площадок в масштабе 1:2000 – 1:1000 и для вынесения проекта аэропорта в натуру;

б) съемка аэродрома в масштабе 1:2000 с высотой сечения 0,5 – 0,25м способом нивелирования по квадратам: съемка территории застройки в масштабе 1:1000 – 1:500 с высотой сечения $h = 0,5\text{м}$.

в) изыскания трасс подъездных дорог, водопроводов, ЛЭП, ливневочных коллекторов.

Одновременно с геодезическими работами ведутся изыскания геологические, гидрологические, почвенные, метеорологические (за скоростью и направлением ветра, осадками, температурой и влажностью) глубинный промер почвы.

Съёмочные работы, как отмечено ранее, выполняются в нескольких масштабах. Наибольший объём работ осуществляется при съёмке в масштабе 1:5000. Площадь съёмки в этом масштабе может составить 20 и более км².

Съёмку таких площадей целесообразно осуществлять аэрофототопографическими методами с использованием современных аэросъёмочных комплексов и технологий. Поскольку при отображении местности для проектирования аэродромных площадей особое внимание уделяется точности изображения рельефа, то при маркировании точек особое внимание уделяется высотным определениям. Плановой и высотной основой воздушной съёмки служит основная сетка квадратов, вершины которой и маркируют в качестве опознаков. Аэросъёмочные маршруты прокладывают параллельно направлению взлётной полосы, включая в район съёмки уча-

сток жилого посёлка, воздушные подходы, места прохождения подъездных дорог и подземных коммуникаций.

Съёмку аэродрома выполняют в масштабе 1:2000, а территории застройки - в масштабе 1:1000. Метод съёмки - нивелирование поверхности по квадратам. Съёмочным обоснованием при этом служит сетка основных квадратов 400х400 м. Внутри основных квадратов разбивают пикетажную сетку со сторонами 40х40 м для съёмки в масштабе 1:2000 и 20х20 м при съёмке в масштабе 1:1000. Разбивку выполняют тросами, на которых флажками отмечают 20- или 40-метровые интервалы. Вершины малых квадратов закрепляют колышками. Нивелирование выполняют методом «горизонта прибора», плановое положение точек ситуации и рельефа определяют линейными засечками, способами перпендикуляров и полярным способом.

Наличие электронного тахеометра значительно упрощает и облегчает процесс съёмочных работ. Тахеометр устанавливается на вершине квадрата со стороной 400 м, вводятся координаты точки стояния. Ориентируется тахеометр по любой удобной стороне сетки, и в координатном режиме выполняется съёмка ситуации и рельефа.

Съёмка воздушных подходов производится одновременно с съёмочными работами в масштабе 1:5000, но при составлении планов используются также существующие топографические и фотоматериалы. Особо обращают внимание на определение высот существующих зданий, сооружений и других высоких препятствий, которые могут помешать нормальному выполнению взлётно-посадочных операций.

Определение *высот препятствий* сегодня не составляет проблем, если используется электронный тахеометр, особенно, если тахеометр снабжён функцией измерения расстояний без отражателя.

Высоту препятствия можно определять относительно его основания как

$$H_{np} = h_1 + h_2 \quad (47)$$

в абсолютных высотах в системе высот объекта:

$$H_c = H_{Rp} + i + h_1 \quad (48)$$

При наличии электронного тахеометра достаточно установить отражатель у основания объекта (точка В) и, измерив S_2 и затем v_2 , вычислить h_2 и L . Если расстояние S_1 , измерить не представляется возможным, то измеряют только угол v . Этих значений достаточно для вычисления h_1 , и, в целом, любую из интересующих заказчика высот препятствия.

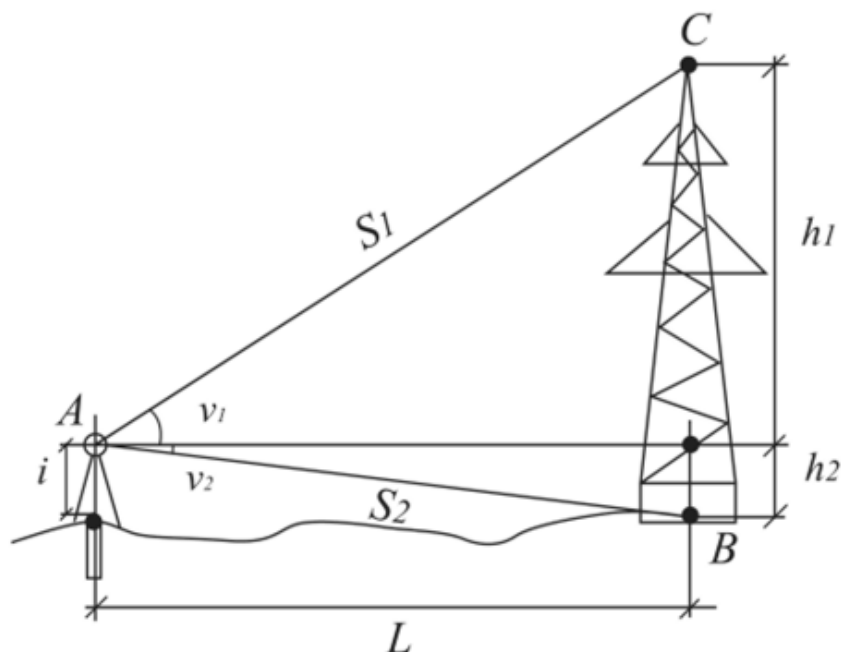


Рис. 39. Определение высоты препятствия

РАЗДЕЛ II. ПРАКТИЧЕСКИЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ»

Дисциплина «Основы инженерных изысканий» освещает цель, виды и содержание инженерных изысканий, классификацию инженерных объектов, сооружений.

Рассматривает инженерно-геодезическую основу изысканий их классификацию и методы создания.

Излагает требования к расположению и закреплению на местности пунктов инженерно-геодезических построений.

Содержит информацию о системах координат в инженерно-геодезических работах, о составе и видах инженерных изысканий для строительства различных инженерных объектов, стадиях проектирования и точности изысканий, также о составе документации, методах и технологиях изысканий.

Рассматриваются особенности инженерно-геодезических построений, пути уменьшения искажений в них, особенности выполнения крупномасштабных инженерно-геодезических съемок.

Задачей лабораторной работы является освоение методов построения инженерно-геодезических сетей, рассмотрение изысканий по видам изучаемых условий с последующим их учетом при проектировании и строительстве тех или иных сооружений.

Лабораторная работа № 1. ВЫЧИСЛЕНИЕ КООРДИНАТ СТЕННЫХ ЗНАКОВ ПОЛИГОНОМЕТРИИ.

Пункты планового обоснования инженерно - геодезических сетей закрепляются обычно знаками, имеющими особенности в конструкциях, местах расположения и способах использования. Так, насыщенность городских проездов подземными сетями, необходимость периодического ремонта и реконструкции улиц затрудняют закладку грунтовых знаков пунктов полигонометрии. Часто их закрепляют стенными знаками различных конструкций.

При этом возникает задача привязки полигонометрических ходов к этим знакам, так как непосредственное центрирование теодолита на знаке исключается - центры знаков расположены, как правило, на расстоянии 3-4 см от стены или цоколя здания.

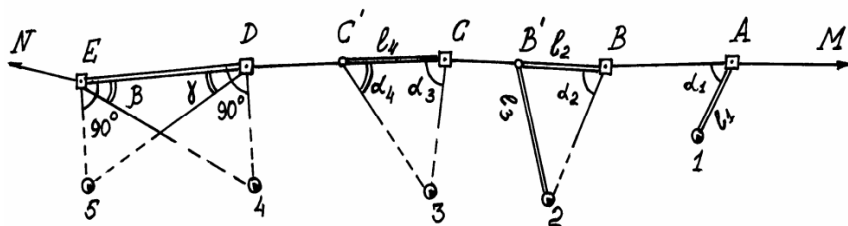


Рис.1.1. Схема привязки стеновых знаков

Исходными данными для выполнения лабораторной работы служат координаты точек полигонометрического хода (см. табл.1.1.). Кроме того, на схеме указаны результаты угловых и линейных измерений, выполненных на точках хода для вычисления координат стеновых знаков.

Для индивидуального выполнения лабораторной работы каждым студентом размеры отрезков изменяются в соответствии с формулой

$$l_i^k = l_{\text{исх}} + 10_{\text{мм}} \cdot k, \quad (1.1.)$$

где k - номер варианта.

Аналогично значение углов β и γ при точках Д и Е определяются для каждого варианта по формулам.

$$\beta^k = 0^\circ 17' 36'' + 10'' \cdot k$$

$$\gamma^k = 0^\circ 25' 41'' - 10'' \cdot k \quad (1.2.)$$

Таблица 1

Каталог координат пунктов полигонометрического хода и элементы привязки стенных знаков.

название точек	координаты, м		элементы привязки	
	X	Y	угловые	линейные
А	16385,789	10285,594	$\alpha_1 = 44^\circ 33' 18''$	$l_1 = 2,725\text{м}$
В	16311,658	10131,602	$\alpha_2 = 56^\circ 17' 18''$	$l_2 = 9,268\text{м}$
С	16249,654	10027,765	$\alpha_3 = 85^\circ 14' 42''$	$l_3 = 8,864\text{м}$
Д	16167,690	9894,255	$\alpha_4 = 41^\circ 38' 30''$	$l_4 = 13,434\text{м}$
Е	16081,394	9792,002		

Используя данные табл.1.1. и формулы 1.2. получаем линейные элементы привязки стенных знаков к пунктам полигонометрии по своему варианту. Затем, применяя известные формулы для решения прямой геодезической задачи, следует вычислить координаты стенных знаков. При этом значения отрезков В2, С3, Д4, Е5 можно получить после решения соответствующих треугольников: ВВ'2, СС'3, ДД'4, ДД'5. Далее, применяя формулы для решения обратной геодезической задачи, должны быть получены длины линий и дирекционные углы между центрами стенных знаков. Их необходимо зане-

сти в каталог стенных знаков полигонометрии с указанием координат, длин линий (с точностью до миллиметров) и их дирекционных углов (с точностью до секунд).

Например, для стенового знака 3, решение выполним следующем порядке:

$$X_3 = X_C + \Delta X_{C3}$$

$$Y_3 = Y_C + \Delta Y_{C3}$$

$$\Delta X_{C3} = l_{C3} \cdot \cos \alpha_{C3}$$

$$\Delta Y_{C3} = l_{C3} \cdot \sin \alpha_{C3}$$

$$\alpha_{C3} = \alpha_{CD} - \alpha_3$$

$$\alpha_{CD} = \arctg \frac{Y_D - Y_C}{X_D - X_C}$$

Аналогично находятся координаты оставшихся стеновых знаков полигонометрии.

Лабораторная работа №2. ПРИМЕНЕНИЕ УГЛОВОЙ ЗА- СЕЧКИ В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТАХ.

При проведении изысканий широкое применение находит угловая засечка. Она используется при определении планового положения точек геологических выработок, гидрометрических створов, буровых скважин; для привязки полигонометрических и теодолитных ходов; выноса в натуру осей зданий; для определения неприступных расстояний, кренов и наклонов высотных сооружений, диаметров дымовых труб и резервуаров.

В случае привязки полигонометрических или теодолитных ходов к пунктам триангуляции, расположенным на зданиях, или в случаях, когда координаты пункта отнесены к выдающемуся местному предмету (шпиль здания, колокольная церквы и т.п.), не допускающему непосредственной установки теодолита над центром, возникает необходимость снесения координат на точку расположенную на земле.

На рисунке 2.1. представлена схема передачи координат вершины знака пункта триангуляции А на точку Р.

Исходными данными для выполнения работы служат координаты пунктов триангуляции А, В, С, а также результаты измерения базисов b_1 и b_2 , углов 1, 2, 3, 4 и δ .

Для решения этой задачи необходимо определить расстояние АР и дирекционный угол этой линии a_{AP} . Определение расстояния производится из двух треугольников АРІи АРІІ, в которых измеряются базисы РІи РІІ, и углы при них 1,2 и 3,4. Для определения дирекционного угла при точке Р измеряется угол δ между направлениями на пункты А и В.

В целях контроля правильности определения положения (координат) снесенного центра Р при нем должен быть измерен угол на второй пункт триангуляции С. В случае отсутствия видимости с земли на второй пункт необходимо из-

мерить угол на пункт триангуляции В при другом конце одного из базисов (при точке I или II).

Для выполнения работы по вариантам каждый студент индивидуально определяет значения углов δ и δ_1 из соотношений

$$\begin{aligned}\delta &= 72^\circ 17' 42'' + k' \\ \delta_1 &= 138^\circ 57' 42'' + 1,055 \cdot k'\end{aligned}\quad (2.1.)$$

где k - номер варианта.

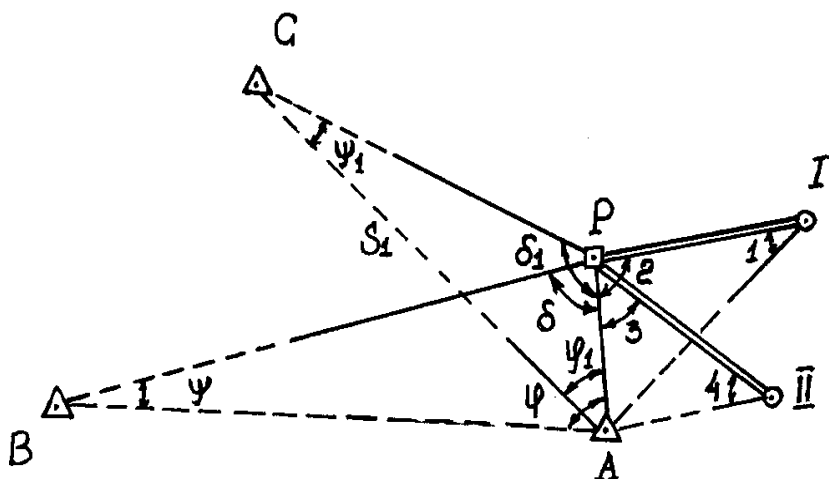


Рис. 2.1. Схема передачи координат

Последовательность выполнения работы.

Из треугольников AP_I и AP_{II} вычисляются два значения сторон AP = d и берётся в дальнейших вычислениях среднее арифметическое значение.

Затем определяются вспомогательные углы φ и ψ

(2.2.)

$$\sin \psi = \frac{d_{\text{сп.}} \sin \delta}{S_{AB}};$$

$$\varphi = 180^\circ - (\psi + \delta)$$

Вычислив значение дирекционного угла a_{AP} , через a_{AB} и φ , и используя известные формулы для решения прямой геодезической задачи, находят приращение координат и координаты определяемого пункта Р.

Для проверки вычислений из решения обратной геодезической задачи определяется дирекционный угол a_{PB} .

Разность дирекционных углов a_{PB} и a_{PA} должна дать измеренный угол δ , на основании которого производились вычисления координат точки Р.

Расхождения измеренного и вычисленного значений угла δ не должно превышать 5".

В целях контроля правильности определения положения точки Р (полевых измерений) определяется дирекционный угол a_{PC} . Разность дирекционных углов a_{PC} и a_{PA} должна дать измеренный угол δ_1 в пределах двойной точности измерения углов.

Все вычисления производятся в табл. 2.1. – 2.4.

Таблица 2.1.

Вычисление расстояний

№ углов	Названия углов	Углы	Стороны, м
1	I	38°26'00"	$b_1=532,24$
2	P	70°08'54"	$d_1=$
3	P	87°28'00"	$b_2=396,75$
4	II	42°26'36"	$d_2=$

Таблица 2.2.

Вычисление вспомогательных углов

d_{cp}		ψ	
Δ		$\Psi + \delta$	
S_{AB}		ϕ	

Таблица 3

Вычисление координат

α_{AB} α_{AP}	
X_P X_A	+7049,75
Y_A Y_P	+17577,28

Таблица 4

Контроль вычислений и измерений

Y_B Y_P	+7125,68	Y_C Y_P	+14428,51
X_B X_P	+5605,18	X_C X_P	+12317,49
α_{PB} α_{PA}		α_{PC} α_{PA}	
$\delta_{выч.}$ $\delta_{исх.}$		$\delta_{Iвыч.}$ $\delta_{Iисх.}$	

Лабораторная работа № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВО- ДЫ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ.

Одной из наиболее важных характеристик водного потока является расход воды. Расход – это объем воды, протекающей через поперечное сечение водотока за единицу времени. Знание расхода воды необходимо при строительстве большинства инженерных сооружений.

В гидрологии имеется несколько способов для непосредственного измерения расходов воды, а также его можно определить из вычислений на основе измеренных глубин и скоростей течения или с использованием аэрометодов. На средних и больших реках расход воды получают из вычислений.

Наиболее распространенными способами вычисления расходов воды являются графоаналитический и графомеханический. Для вычисления расхода воды в реке воспользуемся данными таблицы, полученными из непосредственных измерений.

Последовательность выполнения работы.

В удобном для построения горизонтальном и вертикальном масштабах строят водное сечение реки по расстояниям между промерными вертикалями и глубинам. Поперечный профиль дна изображают ломаной линией. В соответствующие графы профиля заносят значения измеренных скоростей и глубин.

На основании измеренных скоростей, в выбранном масштабе, над уровнем воды строится кривая средних скоростей. Кривая скоростей должна иметь форму плавной кривой.

Поскольку число скоростных вертикалей в водном сечении обычно меньше, чем число промерных, то, пользуясь построенной кривой, определяют значения скоростей для тех вертикалей, где были измерены только глубины. Их записы-

вают в соответствующих местах графы скоростей в скобках, чтобы было видно, что они получены по кривой средних скоростей, а не по непосредственным измерениям.

Для всех промерных вертикалей вычисляют элементарные расходы q ($\text{м}^2/\text{с}$) по формуле

$$q = h \cdot v \quad (3.1.)$$

Полученные значения записываются в соответствующей графе с удержанием второго знака после запятой.

Общий расход воды Q ($\text{м}^3/\text{с}$) равен сумме частичных расходов

$$Q = \sum \Delta Q = k_1 q_1 b_1 + \frac{q_1 + q_2}{2} b_2 + \dots + \frac{q_{n-1} + q_n}{2} b_n + k_2 q_n b_n \quad (3.2.)$$

где q_1, q_2, q_n – элементарные расходы в $\text{м}^2/\text{с}$;

b_1, b_2, b_n – расстояния между вертикалями в м;

k_1, k_2 – коэффициенты, зависящие от характера берега: $k = 0,7$ – для пологого берега; $k = 0,8$ – для обрывистого; $k = 0,9$ – для обрывистого с гладкой стенкой.

С учетом того, что скорости определены гидрометрической вертушкой с погрешностью 3 - 5 % расход воды округляется до трех значащих цифр и выписывается на график.

Таблица 3.1.

Исходные данные

№ п/п промер- ных вертикалей	Расстояния между вертикалями, м	Глубина h, м	Скорость v , м / с
Урез лев. бер.		0,00	0,00
	13,7		
1		2,56	0,12
	10,8		
2		2,69	
	10,5		
3		2,50	0,24
	12,1		
4		2,54	0,48
	8,3		
5		2,48	
	11,7		
6		2,70	
	6,2		
7		2,51	0,75
	10,4		
8		2,37	
	7,9		
9		2,30	0,62
	10,3		
10		2,18	0,59
	12,6		
11		2,15	
	11,4		
12		1,93	0,47
	6,2		
13		1,77	
	7,3		
14		1,34	0,38
	10,6		

№ п/п промер- ных вертикалей	Расстояния между вертикалями, м	Глубина h, м	Скорость v , м / с
15		1,15	
	15,1		
16		0,80	0,29
	16,7		
17		0,72	
	15,8		
Урез пр. бер.			

Для составления гидрометрического профиля рекомендуются следующие масштабы:

горизонтальный – 1:1000,

глубин – 1:100,

скоростей – 1:20,

элементарных расходов – 1:50.

По номеру варианта изменяем:

1) расстояния между промерными вертикалями

$$S_N = S_{исх} \pm 0,1m \cdot N \quad (3.3.)$$

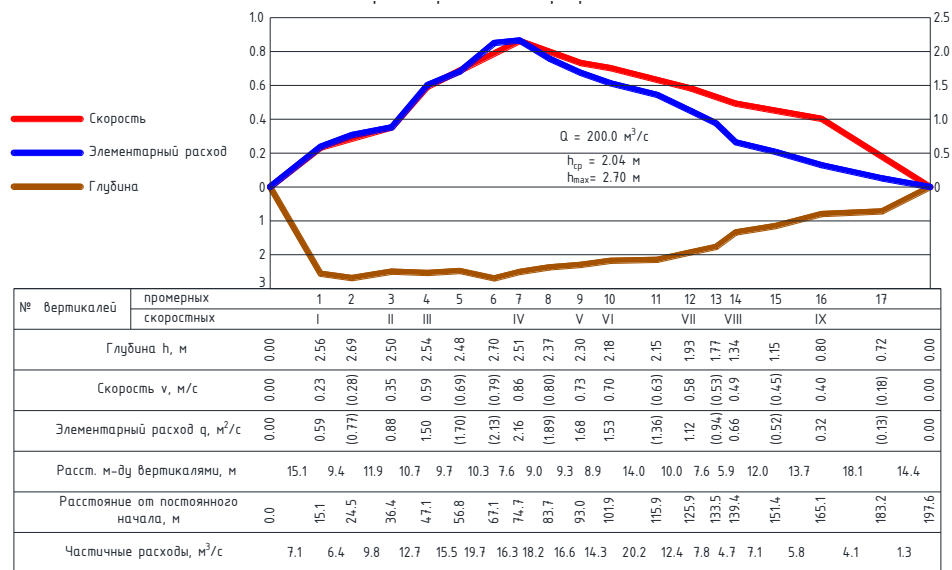
«+» – для нечетных расстояний;

«-» – для четных расстояний;

2) скорость течения

$$V_N = V_{исх} + 0,008 \cdot N \quad (3.4)$$

Рис. 3.1. Гидрометрический профиль



Масштаб горизонтальный 1:1000
 Масштаб глубин 1:100
 Масштаб скоростей 1:20
 Масштаб элементарных расходов 1:50

Лабораторная работа № 4. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПРОЕКТА ТРИАНГУЛЯЦИИ.

При развитии инженерно–геодезических сетей методом триангуляции наиболее типичными построениями являются цепи треугольников, центральные системы, вставки в треугольники и др. Для вычисления ожидаемой точности отдельных элементов построения применяются различные методы оценки проектов, зависящие, главным образом, от геометрических характеристик построения. Если геодезическое обоснование проектируется в качестве свободных сетей, то для уравнивания результатов измерений чаще всего применяется коррелятный метод, а оценку точности проектов производят путем составления уравнений для определения веса функций измеренных величин. При создании геодезического обоснования вставкой одного или нескольких пунктов в существующую сеть для уравнивания обычно применяют параметрический метод, а оценку точности проектов такой сети производят способом весовых коэффициентов.

Существуют строгие и приближенные методы оценки проектов. Результаты приближенной оценки близки результатам строгой оценки.

В лабораторной работе предлагается произвести оценку проекта вставки в сеть треугольников триангуляции 2 класса одного пункта триангуляции 3 класса и двух пунктов триангуляции 4 класса способом последовательных приближений.

На рис.4.1. представлена схема сети, в которой. А, С, D, Е – пункты триангуляции 2 класса, В - пункт триангуляции 3 класса и 1,2 – пункты триангуляции 4 класса. Здесь же даны измеренные длины сторон в километрах, а исходные значения дирекционных углов направлений представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1.

Дирекционные углы направлений сети триангуляции

Наименование направления	Дирекционный угол направления	Наименование направления	Дирекционный угол направления
A-B	84°	D-1	42°
A-1	137°	B-1	208°
C-B	250°	B-2	115°
C-2	198°	E-2	345°
D-B	33°	1-2	85°

Каждый студент в соответствии с номером выданного ему варианта задания изменяет значение дирекционных углов на величину

$$\alpha = \alpha_{исх.} + 6^\circ * K$$

(4.1.)

где K - номер варианта.

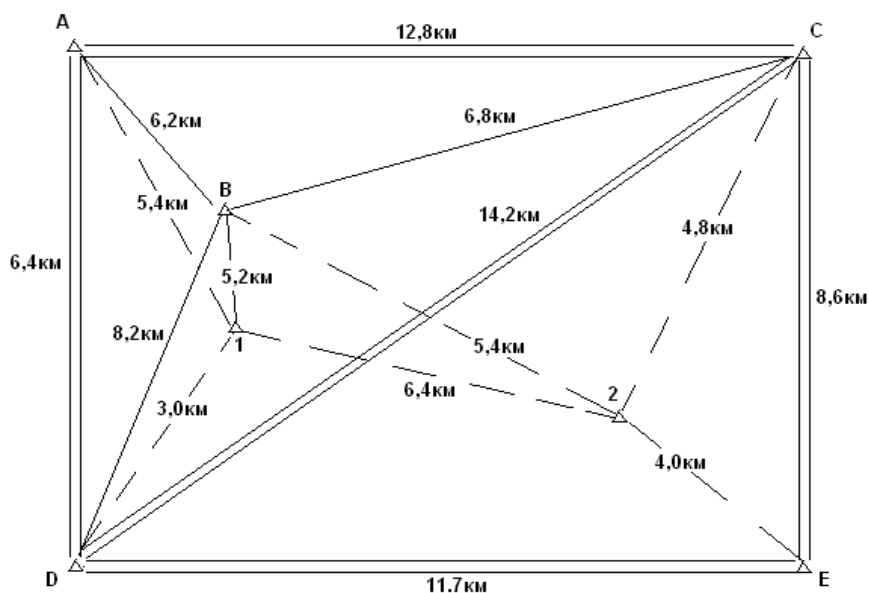


Рис. 4.1. Схема сети триангуляции.

Последовательность выполнения работы.

Предварительно необходимо оценить положение пункта В триангуляции 3 класса, определенного вставкой в треугольник триангуляции 2 класса, по формуле (4.2.) проф. К.Л. Проворова, приняв средняя квадратическую погрешность измерения угла $m_\beta = 1.5''$ соответствующую триангуляции 3 класса.

$$M = \frac{\mu_\beta}{\rho} \sqrt{\frac{a^2 b^2 + a^2 c^2 + b^2 c^2 + a^2 S_\alpha^2 + b^2 S_\beta^2 + c^2 S_\gamma^2}{8(a^2 \sin^2 \alpha + b^2 \sin^2 \beta + c^2 \sin^2 \gamma + ab \sin \alpha \sin \beta + bc \sin \beta \sin \gamma + ac \sin \alpha \sin \gamma)}} \quad (4.2.)$$

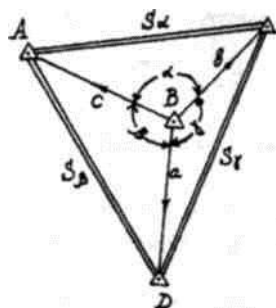


Рис. 4.2. Вставка в треугольник триангуляции 2 класса.

Величину ожидаемой погрешности положения пункта М следует получить в миллиметрах. Так как, $M = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}$

и $m_x = m_y$, можно найти $m_x = m_y = \frac{M}{\sqrt{2}}$

Далее следует оценить положение пунктов 1 и 2 триангуляции 4 класса относительно пунктов триангуляции старших классов способом последовательных приближений. Сначала вычисляются весовые характеристики по всем направлениям (табл.4.2).

Таблица 4.2.

Весовые характеристики по направлениям

Наименование направления	Дирекционный угол, °	Длина стороны S, дм	a	b
A-1	149	54000	-2.0	-3.3
B-1				
2-1				
D-1				
1-2				
B-2				
C-2				
E-2				

Суммарные ожидаемые средние квадратические погрешности положения пункта 1, с учетом всех направлений на этом пункте, подсчитываются в табл. 4.3.

Таблица 4.3.

Первое приближение

Наименование направления	X			Y		
	a	a^2	m_{xi}^2	b	b^2	m_{yi}^2
Определяемый пункт 1						
A-1	-2.0	4.00	1000	-3.3	10.89	0.3673
B-1						
2-1						
D-1						

$$\Sigma a^2 =$$

$$\Sigma b^2 =$$

В первом приближении ставится условие, что все пункты оцениваемой сети не имеют погрешностей в координатах. Ожидаемые погрешности определения пунктов по отдельным направлениям вычисляются по формулам (4.3.) и (4.4.), при-

чем средняя квадратическая погрешность измерения угла $m\beta = 2.0''$ соответствует триангуляции 4 класса.

$$a = -\frac{\rho \sin \alpha}{S}; b = \frac{\rho \cos \alpha}{S}; \quad (4.3.)$$

$$m_{x_i}^2 = \frac{m\beta^2}{a_i^2} \quad m_{y_i}^2 = \frac{m\beta^2}{b_i^2} \quad (4.4.)$$

Суммарные ожидаемые ошибки с учетом всех направлений вычисляются по формулам (4.5.), их размерность – дециметры.

$$M_x^2 = \frac{m\beta^2}{2\sum a^2} \quad M_y^2 = \frac{m\beta^2}{2\sum b^2} \quad (4.5.)$$

Аналогичные вычисления выполняют для определяемого пункта 2, причем в обработку берутся направления: 1–2, В–2, С–2, Е–2. Во втором и последующих приближениях учитываются ожидаемые погрешности определения координат пунктов из предыдущего приближения, а также погрешности m_x, m_y в положении пункта В, полученные по формуле (4.2.). Эти вычисления можно свести в табл.4.4.

Таблица 4.4.

Ожидаемые погрешности положения с учетом погрешностей
исходных данных

Назв. напр.	Х				У			
	m_x^2	m_x^2 (исх)	$(m_x^2)_{2пр}$	A^2	m_y^2	m_y^2 (исх)	$(m_y^2)_{2пр}$	B^2
Определяемый пункт 1								
А-1	1,0000	-	1,0000	4,0000	0,3673	-	0,3673	10,8903
В-1	0,6400	0,1089	0,7489	5,3412	0,4444	0,1089	0,5533	7,2294
2-1	Пример записи в таблице показывает, сколько знаков нужно удерживать в вычислениях							
D-1								

Процесс вычисления продолжается до тех пор, пока результаты последнего приближения не совпадают с результатами оценки в предыдущем приближении. Затем вычисляют ожидаемые ошибки M_1 и M_2 в положении пунктов 1 и 2 по формулам:

$$\begin{aligned} M_1 &= \sqrt{m_{x1}^2 + m_{y1}^2} \\ M_2 &= \sqrt{m_{x2}^2 + m_{y2}^2} \end{aligned} \quad (4.6.)$$

В заключении следует определить ожидаемую погрешность M_{S1-2} слабой стороны сети триангуляции по формуле

$$M_{S1-2} = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} \quad (4.7.)$$

и относительную погрешность, которая сравнивается с допустимой ($\frac{m_s}{S} \leq \frac{1}{70000}$ для триангуляции 4 класса).

Лабораторная работа № 5. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПРОЕКТА ПОЛИГОНОМЕТРИИ.

Полигонометрия применяется для создания и сгущения геодезических сетей. Полигонометрию строят в виде отдельных ходов и систем ходов, опирающихся на исходные пункты. Надежность получения координат пунктов полигонометрии определяется оценкой составленного проекта.

Одним из наиболее простых методов оценки точности полигонометрических сетей является способ последовательных приближений, позволяющий найти ожидаемую среднюю квадратическую погрешность положения каждой узловой точки по отношению к группе соседних узловых точек, а не по отношению к исходным пунктам.

На рис.5.1 представлен проект сети полигонометрии, состоящий из четырех частей, проложенных между пунктами триангуляции. Студенту необходимо оценить проект полигонометрической сети на примере одной части. Исходные данные по каждой сети даны в табл.5.1.

Таблица 5.1.

Исходные данные

Наимен. ходов	Сеть 1		Сеть 2		Сеть 3		Сеть 4	
	n	$[S]$, км	n	$[S]$, км	n	$[S]$, км	n	$[S]$, км
Z_1	7	1,4	8	1,6	9	1,9	10	2,1
Z_2	8	1,6	9	2,1	10	2,2	11	2,5
Z_3	$2 + \kappa$	$0,2n$	$2 + \kappa$	$0,2n$	$2 + \kappa$	$0,2n$	$2 + \kappa$	$0,2n$
Z_4	10	2,0	11	2,3	15	3,4	13	3,0
Z_5	8	1,9	9	2,0	5	1,3	14	3,3

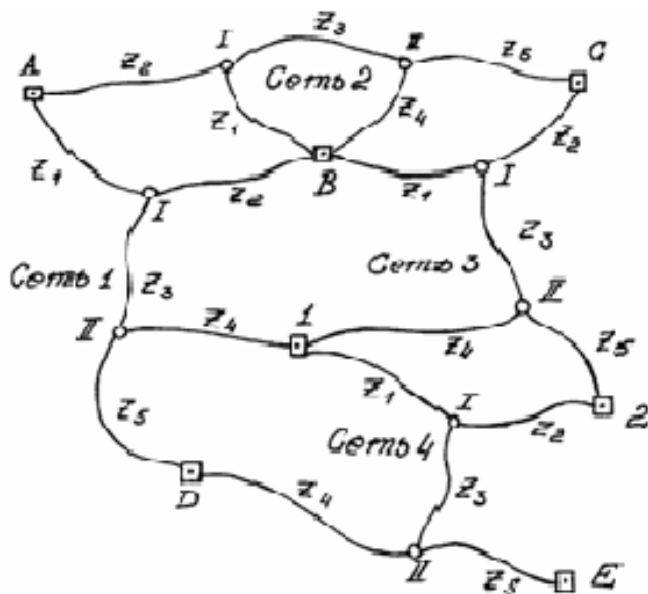


Рис 5.1. Схема сети полигонометрии

Для индивидуального выполнения лабораторной работы каждым студентом в ходе z изменяется количество линий хода на величину k , где k – номер варианта.

Последовательность выполнения работы.

Оценку сети полигонометрии из пяти ходов с двумя узловыми точками выполняют в следующей последовательности:

1) По каждому ходу высчитывают ожидаемую среднюю квадратическую погрешность положения узловой точки M_1, M_2, \dots, M_5 по формуле:

$$M^2 = m_s^2 \cdot n + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} S^2 \frac{n+3}{12} \quad (5.1.)$$

где $m_s = 15\text{мм}$, $m_\beta = 5''$.

Вычисления удобно производить в табл. 5.2.

Таблица 5.2.

Вычисление ожидаемой погрешности конечной точки ходов

№ ходов	$m_s^2 \cdot n$	$\frac{m_\beta^2}{\rho^2} S^2 \frac{n+3}{12}$	M_i^2	M_i	$\frac{M}{[S]}$	P_i
Z_1						
Z_2						
Z_3						
Z_4						
Z_5						

2) Веса определения положения узловой точки I по ходам принимаются равными и вычисляются по формуле:

$$P_i = \frac{C}{M_{Z_i}^2} \quad (5.2.)$$

где $C=100000$.

Веса узловых точек получают по формулам

$$\begin{aligned} P_I &= P_1 + P_2 + P_3 \\ P_{II} &= P_4 + P_5 + P_3 \end{aligned} \quad (5.3.)$$

3) Средние квадратические погрешности определения узловых точек I и II в первом приближении вычисляют так:

$$(M_I^2)_{1np} = \frac{C}{P_I} (M_{II}^2)_{1np} = \frac{C}{P_{II}} \quad (5.4.)$$

4) Во втором приближении учитывают погрешности исходных данных, т. е. погрешности положения узлов I и II, вычисленные по формулам в первом приближении. Следовательно, во втором и последующих приближениях изменится только вес хода Z_3 . Вычисления выполняют в таблице 5.3.

Таблица 5.3.

Вычисление ожидаемых погрешностей узловых точек

№ хода	Второе приближение			
	M_i^2	$M_{исх}^2$	$M_{общ}^2$	P_i
Z_1				
Z_2				
Z_3				
Σ				
Z_3				
Z_4				
Z_5				
Σ				

$$(M_I^2)_{2np} =$$

$$(M_{II}^2)_{2np} =$$

5) В третьем приближении в качестве погрешностей исходных данных узловых точек I и II принимают их погрешности, полученные во втором приближении и так далее в последующих приближениях. Вычисления продолжают до тех пор, пока в двух последних приближениях погрешности не станут равными.

6) Вычисляют общие средние квадратические и предельные относительные погрешности каждого хода с учетом погрешности исходных данных:

$$M_{\text{хода}}^2 = M^2 + \frac{M_{\text{нач}}^2 + M_{\text{кон}}^2}{2} \quad (5.5.)$$

$$\frac{2M_{\text{хода}}}{[s]} \leq \frac{1}{T}, \quad (5.6.)$$

где M – средняя квадратическая погрешность хода, обусловленная точностью измерения углов и линий в ходе,

$M_{\text{нач}}^2$ и $M_{\text{кон}}^2$ – средние квадратические погрешности начального и конечного пунктов хода,

$1/T$ – допустимое значение, установленное инструкцией для сетей полигонометрии.

Вычисления сводят в таблицу:

Таблица 5.4.

Вычисление предельных относительных погрешностей ходов

№ хода	$[S]$, км	M^2	$M_{\text{нач}}^2$	$M_{\text{кон}}^2$	$\frac{M_{\text{нач}}^2 + M_{\text{кон}}^2}{2}$	$M_{\text{хода}}^2$	M	T
Z_1	1,6	3179	0	1587	1259	4438	67	12000
Z_2								
Z_3								
Z_4								
Z_5								

*Лабораторная работа № 6. ВЫЧИСЛЕНИЕ КООРДИНАТ
ПУНКТОВ СТРОИТЕЛЬНОЙ СЕТКИ В ЧАСТНОЙ И ГЕО-
ДЕЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМАХ КООРДИНАТ.*

Проектирование строительной сетки обычно осуществляется на генеральном плане. Координаты пунктов строительной сетки задают в частной системе координат, но, осуществляя привязку строительной сетки к пунктам государственной геодезической сети, возникает необходимость перерасчета координат из частной в геодезическую систему координат. Исходными данными для выполнения лабораторной работы являются топографическая карта масштаба 1:10000, координаты исходных пунктов (табл. 6.1.) и схемы строительной сетки (рис.6.1.).

Схема строительной сетки предлагается преподавателем. Согласно номеру варианта вычисляется значение угла разворота условной оси А относительно северного направления координатной сетки: $\theta = 315^{\circ}00' + 20'k$, где k- номер варианта.

Последовательность выполнения работы.

Сначала на топографической карте необходимо запроектировать полигонометрический ход 1 либо 2 разряда между исходными пунктами, чтобы он обязательно проходил через точку О – начало частной системы координат строительной сетки. Координаты запроектированных пунктов определить по карте с точностью до целого метра, из решения обратной геодезической задачи вычислить дирекционные углы и горизонтальные проложения сторон хода и нанести их в каталог обычной формы (таблица 6.2.). Затем по известным длинам сторон (указаны на схемах) необходимо определить координаты пунктов строительной сетки в частной системе координат. Далее производим перевычисление координат из частной в геодезическую систему координат по формулам и сводим в таблицу 6.3.:

$$X = X_0 + A \cos \theta - B \sin \theta ,$$

$$Y = Y_0 + A \sin \theta - B \cos \theta$$

(6.1.)

где X_0, Y_0 - геодезические координаты точки O .

Таблица 6.1.

Каталог координат исходных пунктов

Название пункта	Координаты, м	
	X	Y
Г.Малиновка	6064774,8	4311904,3
точка О	6064442,0	4312458,0
Снов	6064380,2	4313572

СХЕМА 1

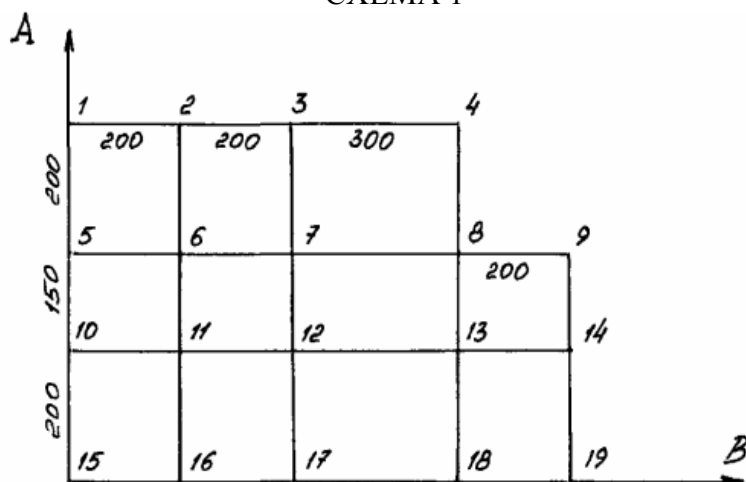


СХЕМА 2

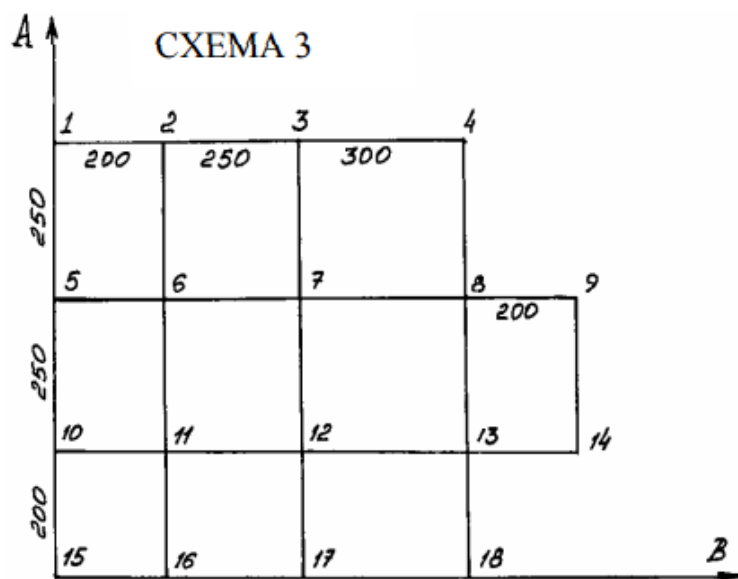
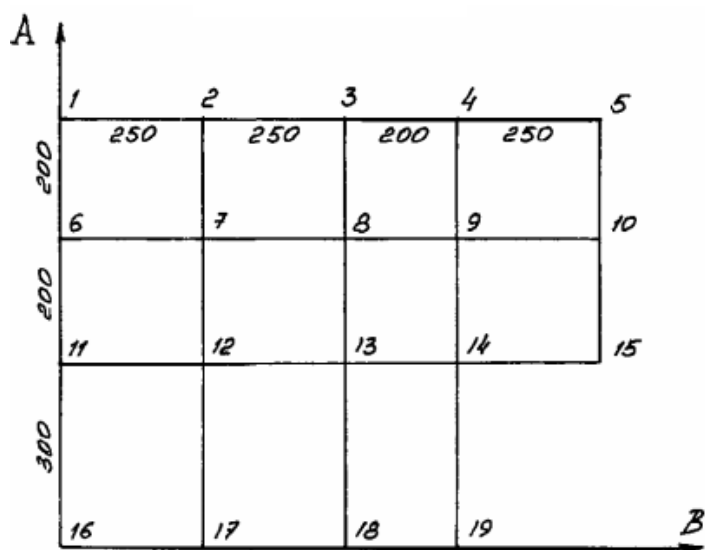


Рис. 6.1. Схемы строительной сетки

Таблица 6.2.

Каталог координат пунктов полигонометрии

№ точки	X,(м)	Y,(м)	S,(м)	α
I	6064774,8	4311904,3		
ПП1				

Таблица 6.3.

Каталог координат пунктов строительной сетки

№ пункта	A,(м)	B,(м)	X,(м)	Y,(м)
1				
2				
...				
n				

Лабораторная работа № 7. КАМЕРАЛЬНОЕ ТРАССИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ.

Задание: запроектировать трассу автомобильной дороги (категория дороги указывается преподавателем) способом построения линии заданного уклона и составить продольный профиль.

Дорожные трассы должны удачно вписываться в ландшафт местности, трассу желательно располагать на землях, не имеющих народнохозяйственной ценности. Проложение трассы в равнинных районах определяется контурными препятствиями, то есть ситуацией. При проектировании трассы стараться обходить контура и располагать вершины углов поворота приблизительно посередине контура или препятствия. В высотном отношении трассу ведут вольным ходом, то есть проектную линию ведут по характерным точкам местности вдоль намеченного направления.

При трассировании автомобильных дорог руководствуются параметрами, приведенными в таблице 7.1..

Таблица 7.1.

Характеристики автомобильных дорог

Наименование	Категории дорог				
	I	II	III	IV	V
Наибольшие продольные уклоны, промилле	30	40	50	60	70
Наименьшие радиусы кривых в плане, м	1000	600	400	250	125
Наименьшие радиусы вертикальных кривых, м:					
- вогнутых	8000	5000	3000	2000	1500
- выпуклых	25000	15000	10000	5000	2500

Последовательность выполнения работы.

1. Построение линии "нулевых работ", то есть линии равных уклонов.

Линия строится на топографической карте раствором циркуля, равным заложению вдоль воздушной линии трассы, причем можно построить несколько вариантов линии нулевых работ. Линия нулевых работ обычно представляет собой весьма извилистую линию, поэтому ее спрямляют. При ее спрямлении необходимо помнить, что трассу ведут так, чтобы она огибала препятствия и вершины углов поворота располагались примерно посередине препятствий. Окончательный вариант трассы оформляется красным цветом на топографической карте.

2. Контроль уклонов по прямолинейным участкам трассы.

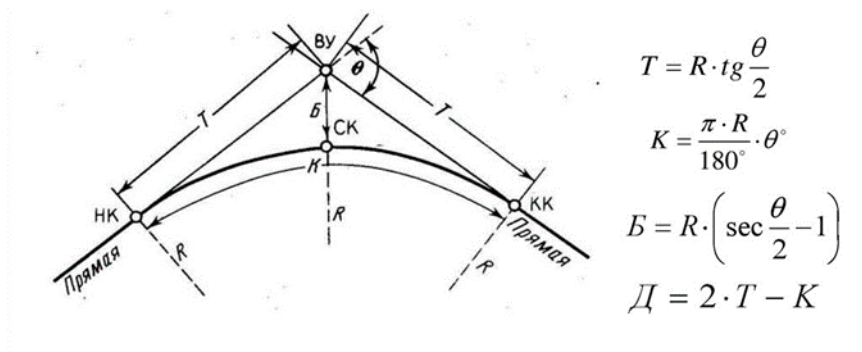
Уклоны подсчитывают для каждого участка по известной формуле и сравнивают с величиной допустимого уклона по заданной категории автодороги. Например, для первого участка от точки А (начало трассы) до вершины угла 1 (ВУ1) уклон равен $i_1 = \frac{H_{ВУ1} - H_A}{S_{А-ВУ1}}$, отметки точек и расстояние между ними (на местности) определяем по карте. Уклоны по участкам должны быть меньше допустимого значения по проектируемой категории автомобильной дороги.

3. Определение углов поворота, выбор радиусов круговых кривых и подсчет основных элементов кривых.

Угол поворота θ образуется продолжением предыдущего и нового направлений трассы. Углы поворота на карте можно измерить транспортиром с точностью $0,5^\circ$.

Радиусы круговых кривых выбирают в соответствии с категорией автодороги (R/R_{\min}), причем желательно иметь такой радиус, чтобы кривая на карте не накладывалась на контура (что повлечет за собой вырубку лесов, садов, снос жилых домов и т. д.).

По величине угла поворота трассы θ и радиусу кривой R , длина которого назначается в зависимости от местных условий и технической категории дороги, определяют основные элементы круговой кривой: тангенс T (расстояние от ВУ до начала или конца кривой); кривую K (длина дуги, вписываемая между прямыми соседними участками трассы); домер D (разница между суммой двух тангенсов и длиной кривой) и биссектрису B (расстояние от вершины угла до середины кривой).



Вычисление основных элементов производят с точностью до целого сантиметра.

4. Определение пикетажных значений главных точек кривых и составление ведомости углов поворота, прямых и кривых.

Прежде всего необходимо определить пикетажные значения вершин углов поворота, используя расстояния от начала трассы до первой вершины, между вершинами и от последней вершины до конечной точки трассы:

$$ПКВУ1 = \frac{S_{A-BV1}}{100}$$

$$ПКВУ1 = \frac{1250,00}{100} = ПК12 + 50,00$$

$$ПКВУ_1 = \frac{s_{A-BУ_1} + s_{BУ_1-BУ_2} - D_1}{100} \quad (7.1.)$$

Вычисление пикетажных значений главных точек кривых (начал, середин и концов круговых кривых) производят по формулам 7.2.

$$\begin{aligned} ПКНК &= ПКВУ - T \\ ПКСК &= ПКНК + \frac{1}{2} K \\ ПККК &= ПКНК + K \end{aligned} \quad (7.2.)$$

Выполняем контроль по формулам 7.3.

$$\begin{aligned} ПКСК &= ПККК - \frac{1}{2} K \\ ПККК &= ПКВУ + T - D \end{aligned} \quad (7.3.)$$

Пикетажные значения принято вычислять в столбик, например:

ПК ВУ.....	ПК 12 + 50,00
- Т	3 26,29
<hr/>	
ПК НК.....	ПК 9 + 23,71
+ К	5 63,08
<hr/>	
ПК КК.....	ПК 14 + 86,79
ПК НК.....	ПК 9 + 23,71
+ 1/2 К	2 81,54
<hr/>	
ПК СК	ПК 12 + 04,25

Таким же образом контролируем правильность вычисления пикетажных значений главных точек кривых. Затем со-

ставляется ведомость (табл.7.2.) и выполняется контроль по формулам 7.4.

Таблица 7.2.

Ведомость углов поворота, прямых и кривых

№ точки	Углы поворота		Основные элементы круговых кривых, м					Пикетажные значения		Расст между вершS, м	Прям. вставка П,м
	Пикетаж ВУ	θ	R	T	K	B	D	НК	КК		
A 1 N B											
Σ				ΣT	ΣK		ΣD			ΣS	$\Sigma П$

$$2\Sigma T - \Sigma K = \Sigma D$$

$$L_{TP} = \Sigma П + \Sigma K = \Sigma S - \Sigma D$$

(7.4.)

5. Разбивка пикетажа по трассе, построение кривых по главным точкам кривых.

Пикетаж разбивается от начала трассы (точка А соответствует нулевому пикету ПК 0), через интервалы на местности, равные 100 м. При разбивке пикетов после вершины круговой кривой учитывается величина домера Д. Разбивка пикетажа по трассе выполняется на ксерокопии участка топографической карты.

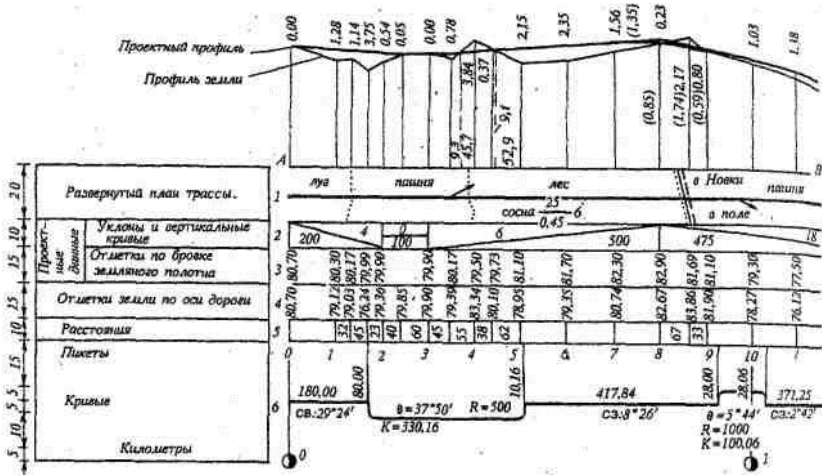


Рис. 7.1. Продольный профиль трассы

6. Составление продольного профиля трассы автодороги.

Продольный профиль строится по всей трассе на миллиметровой бумаге. Масштаб горизонтальный 1:5000, масштаб вертикальный 1:500 (или крупнее). Пример продольного профиля представлен на рис. 7.1.

Продольный профиль составляют на миллиметровой бумаге. Составление начинают с вычерчивания его сетки согласно установленному образцу для данного вида сооружений.

Первой заполняют графу 5. В ней вертикальными отрезками обозначают пикеты, а их номера подписывают ниже. Между пикетами отмечают плюсовые точки и подписывают расстояния между ними (заполняется черным цветом).

В графу 4 заносят отметки земли (фактические отметки) пикетов и плюсовых точек, которые определяют по карте путем интерполирования по горизонталям с точностью до 0,01 м (заполняется черным цветом).

В графе 6 показывают условный план трассы. Начало и конец каждой кривой отмечают вертикальной чертой по их пикетажным значениям. Кривые участки изображают условными ду-

гами, выпуклостью вниз при повороте трассы влево и выпуклостью вверх при повороте вправо, здесь же указывают значения θ, R и K . Для прямых вставок указывают их длину и азимут (румб).

Посередине графы 1 горизонтальной линией отображают трассу, а вершины углов поворота отмечают стрелками. Затем сюда же переносят ситуацию вдоль трассы с топографической карты (заполняется черным цветом).

При построении профиля земли на вертикалях (пикеты, плюсовые точки) отмечают точки, соответствующие отметкам земли в принятом вертикальном масштабе. Отметку условного горизонта (линии AB) выбирают так, чтобы линия профиля размещалась выше ее на 5 - 10 см.

При выборе проектного профиля линейного сооружения руководствуются определенными техническими условиями. Например, если проектный продольный профиль автомобильной дороги должен проходить через заданные точки в местах примыкания к существующим дорогам, мостам, то должна предусматриваться насыпь для предотвращения дороги от затопления на низменных участках и снеговых заносов на других участках. При резко пересеченном рельефе линию проектного продольного профиля предусматривают в выемках на местах возвышений и на насыпях над понижениями земной поверхности, при этом стремятся к минимальным объемам работ по выемке грунта и строительству насыпей.

Нанесение на профиль проектной линии начинают от ПКО с заданной отметкой. Для этого намечают конечную точку участка с постоянным уклоном.

В графе 2 вертикальными отрезками отмечают начало и конец каждого участка постоянного уклона, а диагональю - направление уклона (заполняется красным цветом). Под диагональю указывают длину участка, а над ней - окончательный уклон.

Предварительный уклон подсчитывают по формуле

$$i' = \frac{H_K' - H_{НАЧ}}{S} \quad (7.5.)$$

полученное значение уклона округляют до целых промилле и записывают в графу 2.

Окончательная (проектная) отметка конца участка вычисляется

$$H_K = H_{НАЧ} + i \cdot s_i \quad (7.6.)$$

По формуле (7.7.) а проектные отметки промежуточных точек данного участка - по формуле

$$H_i = H_{НАЧ} + i \cdot s_i \quad (7.7.)$$

Вычисленные проектные отметки заносят в графу 3 продольного профиля (красным цветом).

Далее вычисляют *рабочие отметки* как разности проектных отметок и отметок земли для каждой точки трассы. Над линией проектного профиля записывают положительные рабочие отметки (высоты насыпи), под линией профиля - отрицательные (глубины выемки), но без знака минус.

Точки нулевых работ (рис. 7.2) находятся в местах, где проектный профиль пересекается с линией земли. Их рабочие отметки равны нулю.

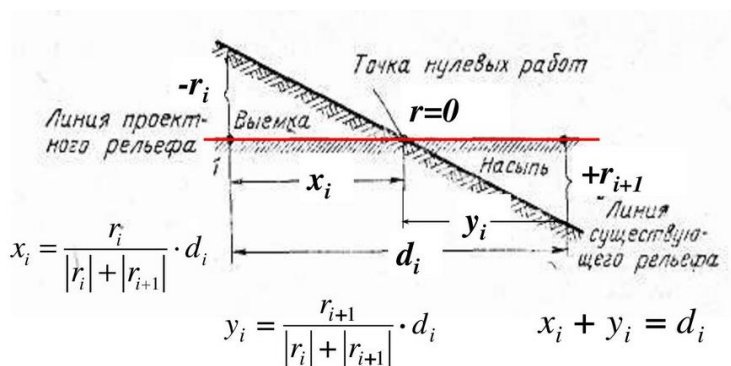


Рис. 7.2. Нахождение точек нулевых работ

Местоположение точек нулевых работ прочерчивают вертикальными штриховыми линиями. Для них вычисляют расстояния до ближайших пикетных или плюсовых точек и записывают синим цветом. Отметки точек нулевых работ определяют по формуле (7.7.) и записываются в соответствующие графы.

Построение на профиле переходных и вертикальных кривых не предусматривается.

Лабораторная работа № 8. ДЕТАЛЬНАЯ РАЗБИВКА КРУГОВЫХ КРИВЫХ

Студентам предлагается выполнить детальную разбивку кривых тремя способами: способом прямоугольных координат, способом углов и еще одним (по собственному выбору).

Исходными данными будут являться круговые кривые, запроектированные по трассе автомобильной дороге в предыдущей лабораторной работе. Интервал детальная разбивки кривой выбирается в зависимости от ее радиуса (5, 10 или 20 м).

Если круговая кривая имеет большую длину (очень много разбивочных точек), то в учебных целях можно выполнить разбивку через 50 м. Для каждой круговой кривой необходимо вычислить элементы разбивки, формулы для их определения приведены в опорном конспекте лекций ранее, и составить разбивочные чертежи на миллиметровой бумаге (рис. 8.1 и 8.2). Масштаб разбивочных чертежей выбирается для каждой кривой лично студентом (рекомендуется - 1:3000 и крупнее).

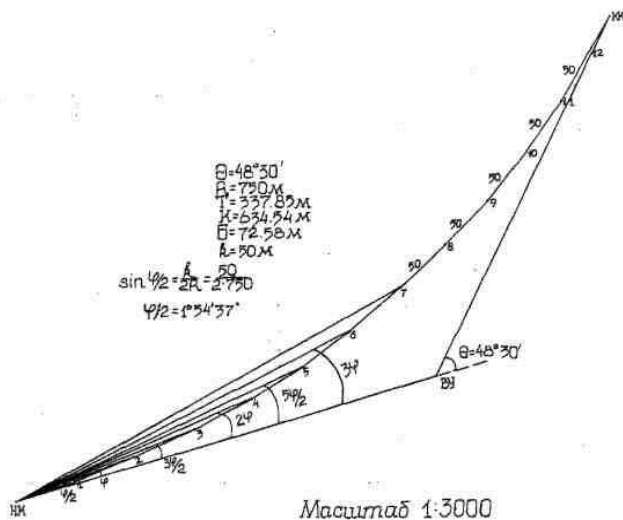


Рис. 8.1. Детальная разбивка кривой способом углов

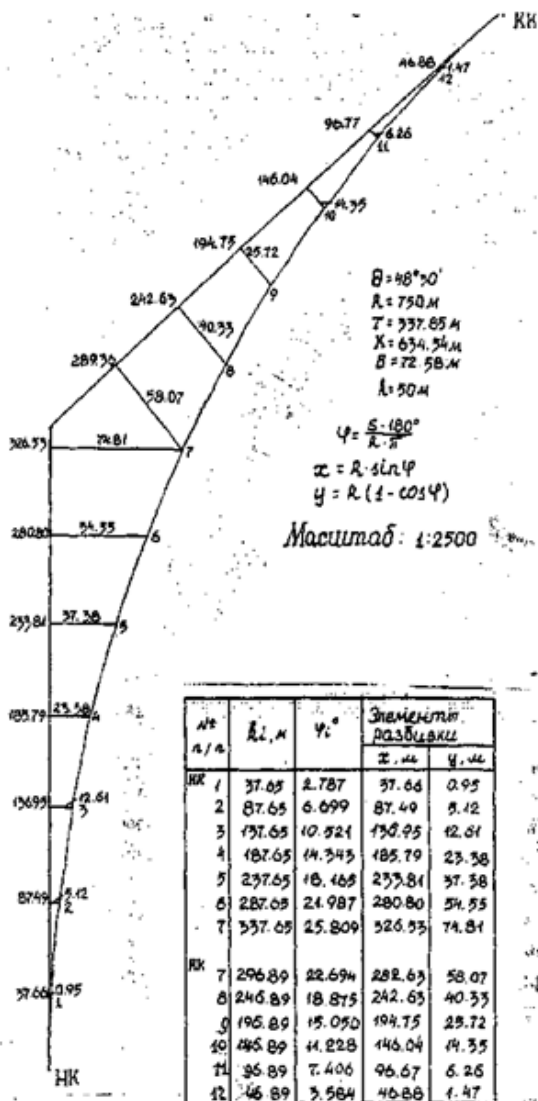


Рис. 8.2. Детальная разбивка кривой способом прямоугольных координат

**Лабораторная работа № 9. ВЪЕЗД В НАТУРУ КРИВОЙ
НЕСКОЛЬКИМИ СПОСОБАМИ.**

Данная работа выполняется в полевых условиях (весной на улице). Разбивка кривой осуществляется на местности бригадой из трех человек. Для разбивки предлагаются небольшие кривые, чтобы было 4-5 разбивочных точек (табл.9.1). Планируется выполнить разбивку способом прямоугольных координат, а контроль - способом углов.

В комплект геодезических приборов, необходимых для выполнения разбивочных работ входят: теодолит ТЗ0, штатив, две вешки, рулетка (50 м) или мерная лента со шпильками. Перед началом разбивки теодолит обязательно проверяют.

Данная лабораторная работа позволяет студентам приобрести практические навыки разбивочных работ.

Таблица 9.1.

Варианты круговых кривых

№ варианта	Угол поворота	Радиус	№ варианта	Угол поворота	Радиус
1	30	100	9	22	120
2	24	100	10	20	130
3	28	120	11	32	50
4	35	50	12	25	110
5	30	90	13	18	140
6	25	95	14	28	100
7	33	80	15	26	60
8	27	100	16	24	50

РАЗДЕЛ III. КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

Перечень контрольных вопросов для самостоятельной работы студентов

1. Цели и задачи изысканий.
2. Состав инженерно-геодезических изысканий для строительства.
3. Техническое задание, программа инженерно-геодезических изысканий.
4. Инженерно-геологические изыскания.
5. Гидрогеологические изыскания.
6. Геодезическая привязка геологических выработок и буровых скважин.
7. Геофизические методы геологической разведки.
8. Охарактеризуйте гравиметрическую разведку.
9. Цель исследований грунтов.
10. Охарактеризуйте строительные свойства грунтов.
11. Какие испытания грунтов производят лабораторным путем?
12. Гидрологические изыскания.
13. Наблюдения за уровнями воды в реках, озерах и водохранилищах.
14. Наблюдения, проводимые на гидрологических станциях.
15. Гидрометрический створ.
16. Промерные работы выполняют на водомерных постах.
17. Определение направления и скорости течения водного потока.
18. Средства измерения глубин.
19. Способами определения расхода воды в реках.
20. Метеорологические изыскания.
21. Назовите средства измерения температуры, давления, влажности.

22. Назовите средства измерения направления и скорости ветра.
23. Как характеризуется облачность?
24. Экономические изыскания.
25. Виды и назначение опорных геодезических сетей.
26. Выбор вида построения и его конфигурация.
27. Что понимают под исходной и поэтапной точностью?
28. Какие показатели регламентируются для сетей триангуляции, трилатерации и полигонометрии?
29. Строительная геодезическая сетка.
30. Последовательность построения на местности строительной сетки.
31. Частная и геодезическая система координат.
32. Геометрическое нивелирование для создания опорных высотных сетей.
33. Особенности закрепления пунктов на территории городов и промышленных площадок.
34. Топографическая съемка.
35. Точность, детальность и полнота плана.
36. Системы координат и высот для определения координат и высот точек съемочного обоснования.
37. Как можно определить масштаб и высоту сечения крупномасштабной съемки?
38. Плотность точек съемочного обоснования на территории городов и промышленных площадок.
39. Охарактеризуйте плановое и высотное съемочное обоснование в зависимости от площади территории.
40. Методы съемок для составления крупномасштабных планов.
41. Съемка застроенных территорий.
42. Методы съемки незастроенной территории.
43. Высотное съемочное обоснование, созданное тригонометрическим нивелированием.

44. Методы съемки при изысканиях магистральных трубопроводов, каналов, автомобильных и железных дорог большой протяженности.
45. Что подлежит отображению на инженерно-топографических планах масштабов 1:5000 – 1:500?
46. Что подлежит обследованию при съемке надземных и подземных линейных сооружений?
47. Состав работ при съемке существующих подземных сооружений.
48. Способы определения планового положения выходов подземных сооружений на поверхность.
49. Нивелированию при съемке подземных коммуникаций.
50. Методы съемки подземных коммуникаций.
51. Что при съемке подземных и надземных коммуникаций по газопроводу должно быть отражено?
52. Что при съемке коммуникаций по силовым кабельным и телефонным сетям должно быть отражено?
53. Что при съемке дренажных систем должно быть отражено?
54. Автоматизация крупномасштабных съемок.
55. Охарактеризуйте трассировочные работы.
56. Трасса, план трассы, продольный профиль трассы.
57. Изобразите графически дорожную трассу в плане и профиле.
58. Характеристика категорий трасс.
59. Плановые и высотные параметры трассирования.
60. Камеральное трассирование.
61. Полевое трассирование.
62. Какие параметры трассирования являются определяющими при проектировании самотечных и напорных трубопроводов, каналов, линий электропередач, сетей канализации и дорожных трасс?
63. Назовите основные правила трассирования в равнинной местности.

64. Особенности проектирования трасс в горной местности.
65. Состав работ при трассировании.
66. Как определяются углы поворота в камеральном и полевом трассировании?
67. Радиусы круговой и переходной кривой.
68. Разбивка пикетажа на трассе.
69. Главные точки кривой. Основные элементы круговой кривой.
70. Основные элементы переходной кривой.
71. Съёмочные работы на трассах линейных сооружений.
72. Пикетажный журнал.
73. Способы при выносе пикетов на кривую.
74. Какие точки подлежат нивелированию при трассировании?
75. Составные части мостового перехода.
76. Состав работ при изысканиях мостовых переходов.
77. Выбор оптимального места для мостового перехода.
78. Методы создания мостовой разбивочной основы.
79. Требования к проектированию магистральных трубопроводов.
80. Габарит приближения проводов.
81. Требования к проектированию трассы воздушной ЛЭП.
82. Охарактеризуйте съёмочные работы на трассах ЛЭП.
83. Основные сооружения аэропорта.
84. Требования к выбору площадок для аэропортов.
85. Состав геодезических работ на стадиях проектирования аэропортов.
86. Съёмка воздушных подходов.
87. Геодезические работы при проектировании гидротехнических сооружений.
88. Виды систем мелиорации.
89. Геодезическое обеспечение проектирования систем мелиорации.

РАЗДЕЛ IV. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ

УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

Учебная программа по учебной дисциплине «Основы инженерных изысканий» разработана для специальности 1-56 02 01 «Геодезия».

Распределение аудиторных часов по курсам, семестрам и видам занятий приведено ниже.

Очная форма получения высшего образования				
Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия, ч.	Форма текущей аттестации
3	6	34	34	экзамен

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1.1. Инженерно-геодезические изыскания

Введение. Предмет и задачи курса, его связь с другими дисциплинами учебного плана. Общие сведения об инженерных изысканиях, их видах и особенностях. Состав работ при инженерно-геодезических изысканиях площадных и линейных сооружений, краткая характеристика каждого вида работ. Техническое задание на выполнение инженерных изысканий. Составление проекта (программы) изысканий.

Тема 1.2. Инженерно-геологические, гидрологические и экономические изыскания

Состав работ при инженерно-геологических изысканиях. Горно-разведочные работы. Геофизические методы разведки. Исследования и испытания грунтов. Геодезическое обеспечение геологической съемки, поиска и разведки полезных ископаемых. Гидрогеологические изыскания. Задачи и состав гидрологических изысканий. Гидрологические посты и станции. Нивелирные работы.

Промерные работы. Руслловые съемки. Измерение скоростей и направления течения. Измерение расходов воды. Метеорологические изыскания. Виды экономических изысканий. Прямые и дополнительные затраты на строительство сооружений. Основные принципы планирования и организации изысканий.

Раздел II. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ОПОРНЫЕ СЕТИ

Тема 2.1. Плановые инженерно-геодезические сети

Назначение и виды плановых сетей, требования к их точности. Ступени развития сетей и методы расчета их точности. Системы координат в инженерно-геодезических работах. Виды инженерно-геодезических сетей. Специальная триангуляция, микротрилатерация, инженерная полигонометрия, линейно-угловые построения. Сети из бездиагональных четырехугольников и анализ их точности. Строительная геодезическая сетка, ее проектирование. Построение сетки осевым методом и методом редуцирования. Разбивка строительной сетки с помощью тахеометра. Закрепление пунктов.

Тема 2.2. Высотные инженерно-геодезические сети

Назначение высотных сетей, требования к их точности, проектирование. Расчет допусков на влияние основных источников ошибок нивелирования и меры ослабления этого влияния. Системы высот, применяемые в инженерно-геодезических работах.

Раздел III. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ

Тема 3.1. Производство топографических съемок

Назначение крупномасштабных инженерно-геодезических съемок, их виды. Выбор высоты сечения рельефа и масштаба. Точность, детальность и полнота планов. Обоснование крупномас-

штабных съемок площадок. Методы съемки застроенных и незастроенных территорий. Автоматизация крупномасштабных съемок.

Тема 3.2. Съемка подземных коммуникаций

Методы съемки подземных коммуникаций. Индуктивный метод съемки и приборы поиска. Составление планов подземных коммуникаций.

Раздел IV. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Тема 4.1. Камеральное трассирование

Состав работ при изысканиях линейных сооружений. Стадии проектирования. Трассирование линейных сооружений. Параметры и правила трассирования. Технология изысканий магистральных трасс. Камеральное трассирование по топографическим картам.

Тема 4.2. Полевое трассирование

Угловые и линейные измерения при полевом трассировании, разбивка пикетажа, закрепление трассы. Круговые и переходные кривые, расчет их элементов. Вертикальные кривые. Детальная разбивка кривых. Нивелирование трассы. Съёмочные работы при трассировании. Привязка к пунктам геодезической основы. Составление плана и профиля трассы.

Раздел V. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ ОСНОВНЫХ ВИДОВ СООРУЖЕНИЙ

Тема 5.1. Геодезические работы при изысканиях гидротехнических сооружений

Гидротехнические сооружения, их виды. Состав инженерно-геодезических работ на разных стадиях проектирования. Мостовые переходы. Выбор места и съемка района перехода. Методы передачи высот через большие водотоки. Построение мостовой разбивочной основы. Геодезические работы при проектировании каналов и состав работ. Выбор высоты сечения рельефа и масштаба съемки

для строительства оросительных систем. Геодезические работы при проектировании и строительстве дорожно-транспортных сооружений.

Тема 5.2. Инженерно-геодезические изыскания магистральных трубопроводов и линий электропередач

Магистральные трубопроводы, требования, предъявляемые к их проектированию. Трассирование, съемка площадок и пересечений. Линии электропередач. Выбор трассы. Габариты приближений. Технические изыскания ЛЭП. Съёмочные и разбивочные работы.

Тема 5.3. Геодезические работы при изысканиях аэропортов

Аэропорты. Генплан аэропорта. Требования к выбору площадок. Геодезическое обоснование площадки аэропорта. Съёмка аэродромных площадок. Трассирование и съёмка воздушных подходов.

Средства диагностики результатов учебной деятельности

Оценка уровня знаний студента производится по десятибалльной шкале в соответствии с критериями, утвержденными Министерством образования Республики Беларусь.

Для оценки достижений студента рекомендуется использовать следующий диагностический инструментарий:

- проведение текущих контрольных заданий по отдельным темам;
- защита выполненных на лабораторных занятиях индивидуальных заданий;
- выступление студента на конференции по подготовленному реферату;
- сдача экзамена по дисциплине.

Перечень тем лабораторных работ

1. Определение расходов воды.
2. Вычисление координат ственных знаков полигонометрии.
3. Оценка точности проекта триангуляции.
4. Оценка точности проекта полигонометрии.
5. Вычисление координат пунктов строительной сетки в частной и геодезической системах координат.
6. Камеральное трассирование автомобильной дороги. Составление продольного профиля.
7. Детальная разбивка кривых различными способами. Составление разбивочных чертежей.
8. Вынос в натуру круговой кривой несколькими способами.
9. Специальные работы при инженерно-геодезических изысканиях
10. Применение угловой засечки в инженерно-геодезических работах.

Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов

При изучении дисциплины используются следующие формы самостоятельной работы:

- решение индивидуальных задач в аудитории во время проведения лабораторных занятий под контролем преподавателя в соответствии с расписанием;
- подготовка рефератов по индивидуальным темам, в том числе с использованием патентных материалов;
- самостоятельная работа, в том числе в виде выполнения индивидуальных заданий с консультациями преподавателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зуева Л.Ф. Основы инженерных изысканий: Учеб. - метод. комплекс для студ. спец. 1-56 02 01 «Геодезия» / Сост. и общ. ред. Л.Ф. Зуевой. – Новополюцк: ПГУ, 2004. – 208 с.
2. Рыжков И. Б., Травкин А. И. Р Основы инженерных изысканий в строительстве: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2016. — 136 с
3. Глумов В.П., Горев В.В., Мельников С.Р., Царев В.М. Области применения спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС и GPS в народном хозяйстве. – Бюллетень «ГЛОНАСС Инфо», – М.: КНИЦ ВКС, 1994, № 1, С. 27 – 30.
4. Климов О.Д. Практикум по прикладной геодезии. Изыскания, проектирование и возведение инженерных сооружений. – М.: Недра, 1991.
5. Левчук Г.П., Новак В.Е., Лебедев Н.Н. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений. – М.: Недра, 1983.
6. Михелев Д.Ш. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2001.
7. Нестеренок М.С., Нестеренок В.Ф., Позняк А.С. Геодезия. – Мн.: Университетское, 1993.
8. СНБ 1.02.01 – 96 Инженерные изыскания для строительства. – Мн., 1996.
9. СНиП 11 – 02 – 96 Инженерные изыскания для строительства. – М., 1996
10. Федотов, Г.А. Дорожные переходы через водотоки: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям обучения 08.03.01 "Строительство" и специальностям "Автомобильные дороги и аэродромы", "Мосты и транспортные тоннели" / Г.

А. Федотов, Г. Г. Наумов. - Москва: ИНФРА-М, 2017

11. Куштин И.Ф., Куштин В.И. -Инженерная геодезия - Ростов-на-Дону: Изд. ФЕНИКС, 2002.
12. Смолич С.В., Верхотуров А.Г., Савельева В.И.- Инженерная геодезия. Учебное пособие для студентов строительных специальностей ВУЗов - 2009.
13. Михелев Д.Ш. - Инженерная геодезия - Издательский центр «Академия», Москва, 2004 г
14. Авакян В.В. Прикладная геодезия: Геодезическое обеспечение строительного производства. М., «Амалданик», 2013.-432 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	2
РАЗДЕЛ I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ. ЛЕКЦИЯ № 1. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ.....	3
ЛЕКЦИЯ № 2. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ, ГИДРО- ЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ.....	18
ЛЕКЦИЯ № 3. ПЛАНОВЫЕ ИНЖЕНЕРНО- ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ.....	53
ЛЕКЦИЯ № 4. ВЫСОТНЫЕ ИНЖЕНЕРНО- ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ.....	87
ЛЕКЦИЯ № 5. КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ИНЖЕНЕРНО- ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ	96
ЛЕКЦИЯ № 6. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ	115
ЛЕКЦИЯ № 7. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ ОСНОВНЫХ ВИДОВ СООРУЖЕНИЙ	145
ЛЕКЦИЯ № 8. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ И ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ	175
ЛЕКЦИЯ № 9. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ АЭРОПОРТОВ	182
РАЗДЕЛ II. ПРАКТИЧЕСКИЙ. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ»	191
Лабораторная работа № 1. ВЫЧИСЛЕНИЕ КООРДИНАТ СТЕННЫХ ЗНАКОВ ПОЛИГОНОМЕТРИИ.	192
Лабораторная работа № 2. ПРИМЕНЕНИЕ УГЛОВОЙ ЗА- СЕЧКИ В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТАХ...	195

Лабораторная работа № 3.ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ.....	199
Лабораторная работа № 4.ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПРОЕКТА ТРИАНГУЛЯЦИИ.....	204
Лабораторная работа № 5.ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПРОЕКТА ПОЛИГОНОМЕТРИИ.....	210
Лабораторная работа № 6.ВЫЧИСЛЕНИЕ КООРДИНАТ ПУНКТОВ СТРОИТЕЛЬНОЙ СЕТКИ В ЧАСТНОЙ И ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙСИСТЕМАХ КООРДИНАТ.....	215
Лабораторная работа № 7. КАМЕРАЛЬНОЕ ТРАССИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ.....	219
Лабораторная работа № 8.ДЕТАЛЬНАЯ РАЗБИВКА КРУГОВЫХ КРИВЫХ.	228
Лабораторная работа № 9.ВЫНОС В НАТУРУ КРИВОЙ НЕСКОЛЬКИМИСПОСОБАМИ.....	230
РАЗДЕЛ III. ПРАКТИЧЕСКИЙ. Перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы студентов	231
РАЗДЕЛ IV. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА.....	235
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	240
ОГЛАВЛЕНИЕ.....	242